

# Uplatnění vakuové infuze pro výrobu hybridních kompozitních systémů

Ondřej Šafařík

---

Bakalářská práce  
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2015/2016

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej Šafařík**  
Osobní číslo: **T14610**  
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Uplatnění vakuové infuze pro výrobu hybridních kompozitních systémů**

Zásady pro vypracování:

1. Literární rešerše
2. Zpracovatelské technologie kompozitních materiálů
3. Vakuová infuze, materiály, technologie, podmínky zpracování
4. Vyztužující systémy a pryskyřice pro vakuové technologie
5. Experimentální část
6. Výběr konstrukční součásti pro výrobu vakuovou infuzí s využitím hybridních kompozitních materiálů
7. Experimentální provedení vakuové infuze
8. Výzkum typu pryskyřice
9. Zhodnocení dosažených výsledků

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího práce**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Lukáš Mañas**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**8. ledna 2016**

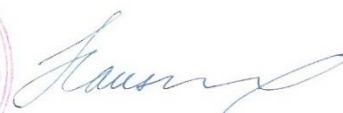
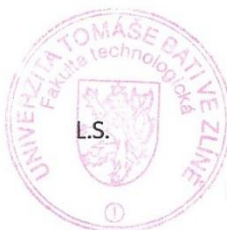
Termín odevzdání bakalářské práce:

**20. května 2016**

Ve Zlíně dne 1. února 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.  
*děkan*



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: Šafarík Ondřej

Obor: Prosevní inženýrství

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby<sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3<sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60<sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60<sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně ..... 2.3.2016

.....  


---

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihledne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se v teoretické části zabývá zpracováním kompozitních materiálů za pomoci moderních technologií a následně detailně řeší problematiku vakuové infuze. V praktické části je vybrána součást závodního automobilu Škoda Fabia S2000 a poté je popsán proces výroby výrobní formy a následná výroba součástí. V poslední části se práce zabývá vyhodnocením dosažených výsledků a následným porovnáním vlastností jednotlivých pryskyřic spolu s měřením mechanických vlastností.

Klíčová slova: Hybridní materiál, uhlíková vlákna, vakuová infuze, forma, pryskyřice.

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis discusses theoretic part of the processing of composite materials using modern technologies and solves the problem of vacuum infusion in detail. In the practical part of this work is selected component of a racing car Skoda Fabia S2000 and the proces of manufacture production of molding form and following production components is described. The final part of this thesis evaluates the results and compares the properties of each resins. Furthermore evaluation of the measurement of mechanical properties.

Keywords: Hybrid material, carbon fibers, vakuum infusion, form, resin.

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi byli při mém studiu oporou duševní i finanční. Velké poděkování patří mým rodičům, prarodičům, celé rodině a přátelům.

Rád bych poděkoval mému vedoucímu panu Ing. Lukáši Maňasovi za cenné rady poskytnuté při tvorbě teoretické části, při řešení praktické části a za možnost zpracování praktické části v kvalitních školních laboratořích.

Dále Marku Soukupovi a týmu Samohýl Motorsport za námět a možnost realizace velmi zajímavého projektu.

Dále pak patří velký dík Jiřímu Zígalovi jak za pomoc při výrobě tak za vnuknutí myšlenky věnovat se kompozitním materiálům a Petru Šafaříkovi za pomoc při realizaci praktické části a za spoustu rad na vylepšení a modifikace celého projektu a postupů.

Speciální dík patří mé přítelkyni Zuzaně Vývodové, která je mi oporou nejen při studiu, ale v životě celkově.

*Motto:*

*„Klasickým způsobem.“*

*Vítězslav Křemeček*

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.



## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 ZPRACOVATELSKÉ TECHNOLOGIE KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ</b> .....	<b>12</b>
1.1 RUČNÍ LAMINOVÁNÍ .....	12
1.2 RUČNÍ KLADENÍ PREPREGŮ S NÁSLEDNÝM VYTVRZENÍM V AUTOKLÁVU .....	13
1.3 RTM („RESIN TRANSFER MOLDING“).....	15
1.4 STRÍKÁNÍ.....	16
1.5 PULTRUZE .....	17
1.6 NAVÍJENÍ .....	17
<b>2 VAKUOVÁ INFUZE</b> .....	<b>19</b>
2.1 PRINCIP VAKUOVÉ TECHNOLOGIE .....	19
2.2 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ PRO VAKUOVOU INFUZI.....	20
2.2.1 Vakuovací folie .....	20
2.2.2 Odtrhová tkanina .....	21
2.2.3 Distribuční médium – rozvodná síť.....	22
2.2.4 Rozváděcí kanál .....	22
2.2.5 Těsnicí páska .....	23
2.2.6 Hadice pro dopravu pryskyřice .....	23
2.2.7 Konektor .....	24
2.2.8 Vakuová vývěva .....	24
2.2.9 Rezervoár.....	25
2.2.10 Fixační lepidlo.....	25
2.2.11 Ochranné pomůcky, bezpečnost při práci s kompozitními materiály .....	26
2.2.12 Pomocné materiály potřebné pro zpracování .....	26
<b>3 VYZTUŽUJÍCÍ SYSTÉMY A PRYSKYŘICE PRO VAKUOVÉ TECHNOLOGIE</b> .....	<b>27</b>
3.1.1 Skelná vlákna .....	29
3.1.2 Aramidová vlákna .....	30
3.1.3 Uhlíková vlákna .....	30
3.1.4 Hybridní tkaniny.....	31
3.2 MATRICE.....	32
<b>PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>34</b>
<b>4 VÝBĚR KONTRUKČNÍ SOUČÁSTI PRO VAKUOVOU INFUZI S VYUŽITÍM HYBRIDNÍCH VLÁKEN</b> .....	<b>35</b>
<b>5 EXPERIMENTÁLNÍ PROVEDENÍ VAKUOVÉ INFUZE</b> .....	<b>36</b>
5.1 PŘÍPRAVA NA VÝROBU FORMY .....	36
5.2 SEPARACE VÝCHOZÍHO DÍLU.....	38
5.3 VÝROBA FORMY .....	39

5.4	PROVEDENÍ VAKUOVÉ INFUZE.....	42
5.5	OŘEZÁNÍ DÍLU .....	46
5.6	DODATEČNÁ ÚPRAVA DÍLU.....	47
<b>6</b>	<b>VÝZKUM TYPU PRYSKYŘICE .....</b>	<b>49</b>
6.1	PŘÍPRAVA PRACOVNÍHO PROSTORU.....	49
6.2	PŘÍPRAVA PRO VAKUOVOU INFUZI.....	49
6.3	PRŮBĚH VAKUOVÉ INFUZE.....	51
6.4	HODNOCENÍ POVRCHU .....	51
6.5	EXPERIMENTÁLNÍ ZKOUŠKA TAHEM .....	52
6.5.1	Příprava vzorků na experimentální zkoušku tahem .....	53
6.5.2	Průběh experimentální zkoušky tahem.....	53
6.5.3	Vyhodnocení experimentální zkoušky tahem .....	54
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>55</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>59</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>61</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>62</b>

## ÚVOD

Kompozitní materiály zaujímají v dnešních průmyslových odvětvích neodmyslitelné místo a z mnohých začínají vytlačovat dosud používané konvenční materiály. Tyto materiály jsou schopny plnit složité požadavky konstruktérů a to jak z pevnostních tak tvarových a výrobních hledisek. Dříve byly tyto materiály využívány pouze pro velmi specifické aplikace jako letectví a kosmonautika, ale se snižující se cenou se stávají dostupnější pro civilní inženýrství jako např. automobilový průmysl. Ve specifických odvětvích motorsportu jsou tyto materiály využívány mimo výše uvedené výhody taktéž díky nízké hmotnosti kompozitních dílů se zachováním jejich tuhosti.

Teoretická část této bakalářské práce se zabývá rozdělením jednotlivých technologií používaných při výrobě kompozitních dílů spolu s jejich výhodami a nevýhodami. Ve druhé kapitole je popsána technologie vakuové infuze spolu se všemi potřebnými pomocnými materiály a postupy, které je nutno při výrobě součásti dodržet. Dále se tato část práce zabývá rozdělením jednotlivých vyztužujících systémů a pryskyřic využívaných při vakuové infuzi.

V praktické části je popsán postup při výrobě vybrané součásti. Konkrétně se jedná o kryt pod čelní sklo závodního automobilu Škoda Fabia S2000 a to od postupu při výrobě formy až po výrobu samotného dílu. V této kapitole je taktéž popsán postup při výrobě vzorků jednotlivých typů pryskyřic a jejich následné zkoušení.

Závěr je věnován vyhodnocení celého projektu a porovnání výsledků měření jednotlivých druhů pryskyřic.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 ZPRACOVATELSKÉ TECHNOLOGIE KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

Technologie využívané při výrobě kompozitních materiálů jsou rozdělovány dle několika zásadních hledisek. Jedním ze základních hledisek rozhodujících o volbě typu technologie je to, zda bude u součásti využita forma otevřená nebo uzavřená, jsou-li vlákna a pryskyřice zvlášť nebo používáme předimpregnované materiály – tzv. prepregy. Dalším z faktorů ovlivňujících volbu technologie je využití ručního či strojního kladení jednotlivých materiálů.

## 1.1 Ruční laminování

Ručním kladením výztuže do otevřené formy se dají vyrobit tvarově náročné a rozměrově velké součásti. Výztuž se používá v podobě tkaniny nebo rohože. Pryskyřice musí mít tekutou konzistenci, aby ji bylo možno ručně nanášet na předchystanou výztuž. Nanášení probíhá pomocí válečku, štětce nebo stěrky. Pro zlepšení prosycení se používají speciální válečky, které jsou složeny z jednotlivých disků, mezi kterými jsou mezery umožňující tok pryskyřice a vytlačování vzduchových bublin. Odpařování reaktivního rozpouštědla lze předcházet použitím pryskyřic s obsahem vosku, vytvářející na povrchu stojící pryskyřice nepropustnou vrstvu. [6]

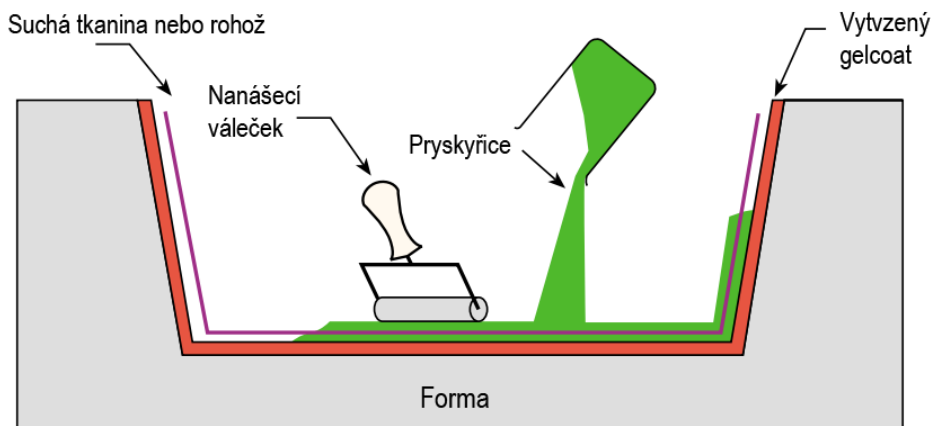
Vyrobené díly se mohou vytvrzovat na pokojové teploty nebo za zvýšené teploty (80°C). Tuto variantu pracování kompozitních materiálů je možno vylepšit za použití vakuové pumpy a dalších pomocných materiálů, kdy jsou z jednotlivých vrstev odsáty bublinky vzduchu a přebytečná pryskyřice. Tímto způsobem vznikne laminát s lepšími mechanickými vlastnostmi a požadovanou tloušťkou. [2]

### Výhody:

- Jednoduchá technologie s nízkými náklady
- Možnost výroby tvarově složitých součástí
- Dají se vyrábět velkorozměrové výrobky

**Nevýhody:**

- Pohledová plocha pouze na jedné straně
- Kvalita výrobku se odvíjí od zkušeností pracovníka
- Ve výrobku mohou zůstat vzduchové bubliny



Obr. 1. Schéma ruční laminace

**1.2 Ruční kladení prepregů s následným vytvrzením v autoklávu**

Jedná se o technologii používanou jak pro sériovou tak pro kusovou výrobu vysoce mechanicky namáhaných kompozitních dílů. Do otevřené formy opatřené vrstvou separátoru jsou dle zvolené skladby laminátu pokládány nařezané prepregy. Aby se zvýšila přilnavost prepregů, je možno je nahřívat horkým vzduchem nebo využít speciální spreje určené pro zakládání prepregů. Po položení potřebného počtu vrstev jsou na poslední vrstvu položeny další technologické vrstvy a to v pořadí odtrhová tkanina, separační fólie, odsávací rohož a vakuová fólie. Hermetičnost prostoru zajišťuje vakuová fólie nebo pro opakované použití elastomerní vak vyrobený většinou ze silikonového kaučuku. Po odsátí vzduchu z pracovního prostoru jsou k sobě jednotlivé vrstvy slisovány. V tlakové nádobě (tzv. autoklávu) dojde k vytvoření přetlaku, tím pádem jsou k sobě jednotlivé vrstvy přitlačovány atmosférickým tlakem a ohřívány na 120°C až 200°C. Přetlakem v autoklávu se k sobě vrstvy tkaniny přitlačí ještě více a je tak zaručen minimální obsah pryskyřice ve výrobku. Doba působení teploty v autoklávu se volí podle rychlosti vytvrzování pryskyřice. Chladnutí dílu musí být pomalé, aby mohla být dostatečně relaxována vnitřní pnutí v kompozitu, který

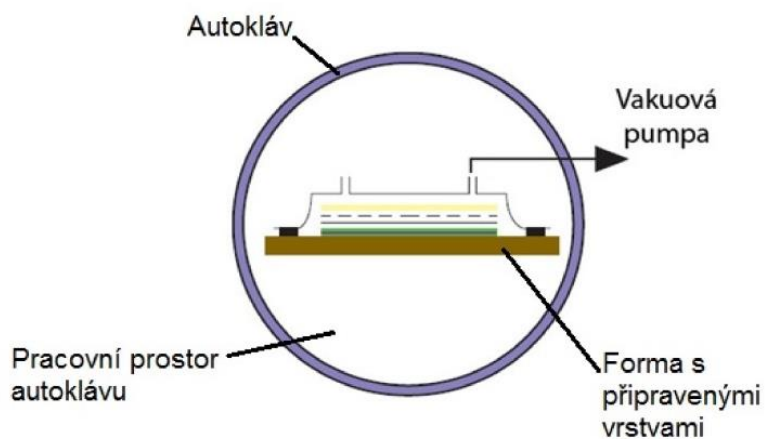
vzniknou různou tepelnou roztažností složek i jejich různou směrovou orientací. Tato technologie se dá dále plně automatizovat. O nanášení prepregů se stará kladečí hlava celý proces je řízen pomocí počítače. Výhodou této modifikace je přesné zaručení směrové orientace vlákna. Nevýhodou jsou velké pořizovací náklady a složité odladění procesu. [7]

**Výhody:**

- Lze dosáhnout vysokého obsahu výztuže
- Obsah pryskyřice lze přesně stanovit – jsou stanoveny výrobcem materiálu
- Chemickým složením pryskyřice lze ovlivnit mechanické vlastnosti
- Potenciál pro automatizaci
- Je zaručen přesný směr vláken

**Nevýhody:**

- Vysoké náklady na materiály, jejich skladování a využívané přístroje
- Omezená velikost výrobku daná velikostí pracovního prostoru vytvrzovacího zařízení
- Veškeré použité materiály musí být schopny odolávat podmínkám při vytvrzování



Obr. 2. Schéma tváření v autoklávu

### 1.3 RTM („Resin Transfer Molding“)

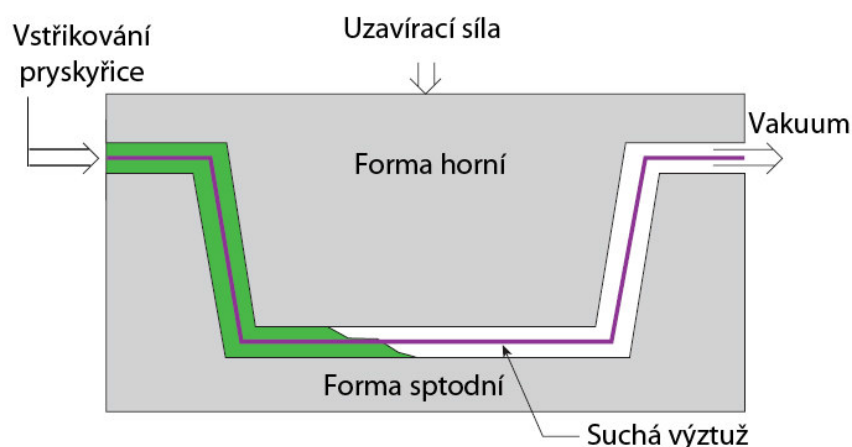
Jde o technologii, při které je forma uzavřena. Při použití vhodných pryskyřic nedostávají do okolí reaktivní rozpouštědla. Ohřátá pryskyřice a tvrdidlo jsou pomocí nízkotlakých čerpadel dopravovány do mísící hlavy bezprostředně před injektáží směsi do dutiny naseparované formy. Výhodou RTM je to, že rub i líc výrobku jsou hladké a rozměry výrobku jsou přesné. Jako výztuž se většinou používají tkaniny nebo rohože, jež jsou již předtvarované – tzv. „preform“. Vlákná v rohoži musí být odolná proti posunutí při toku pryskyřice. U rohoží se sekanými vlákny se používá vazebný prostředek, který je rozpustný v pryskyřici, pro RTM jsou ale vhodnější kontinuální vlákna než sekaná. Tato technologie zpracování kompozitních materiálů se dále dělí na několik druhů a to dle modifikace oproti původní technologii RTM. Je možno například proces automatizovat, vkládat do formy předtvarovaný preform nebo odsávat přebytečnou pryskyřici pomocí vakua. [9]

#### Výhody:

- Možnost výroby dílu s pohledovými plochami na celé součásti
- Pryskyřice neuvolňuje do ovzduší reaktivní rozpouštědlo
- Přesná výroba

#### Nevýhody:

- Nutnost těžkých a drahých výrobních forem
- Složitá výrobní forma
- Není možnost dosáhnout vysokého obsahu skla – nižší fyzikální vlastnosti



Obr. 4. Schéma RTM



## 1.4 Stříkání

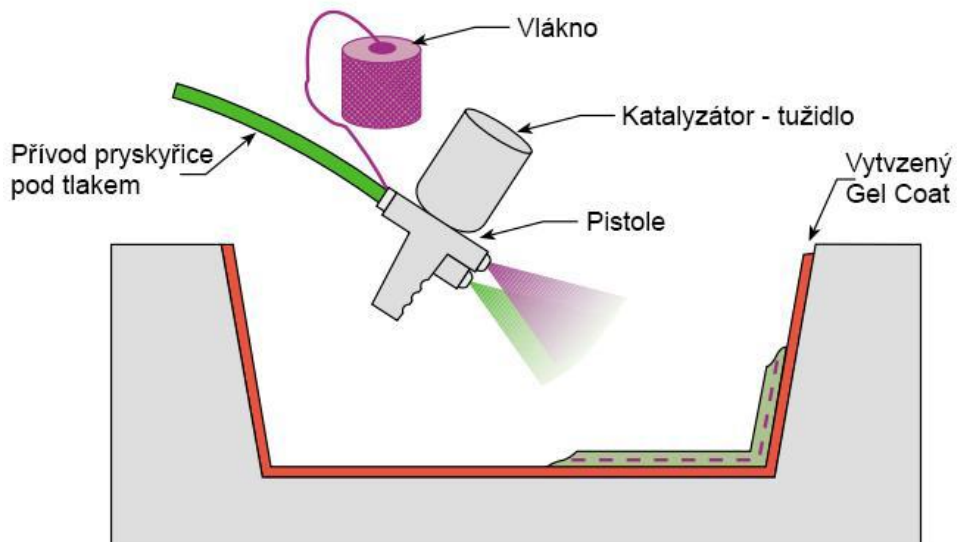
Jedná se o metodu, při které je nasekané vlákno a pryskyřice nanášen pneumatically pomocí speciální stříkací pistole a následně jsou z vrstvy pomocí speciálních válečků vytlačeny vzduchové mezery. Proces lze provádět ručně či strojně. Tato technologická metoda je často využívána k výrobě velkorozměrných součástí a to zejména kvůli možnosti nanášení velkého množství materiálu na velkou plochu za krátký čas. [7]

### Výhody:

- Rychlé a efektivní nanášení pryskyřice a vlákn

### Nevýhody:

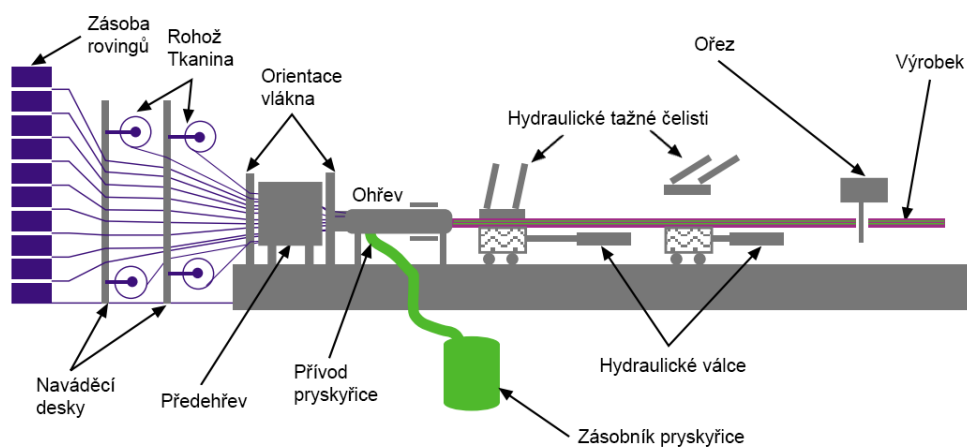
- Větší vrstva pryskyřice – vyšší hmotnost
- Vlastnosti laminátu jsou limitovány krátkými vlákny
- Musí se používat pryskyřice s nízkou viskozitou
- Vyšší koncentrace škodlivých látek, které se odpařují



Obr. 5. Schéma stříkání

## 1.5 Pultruze

Při pultruzi je výztuž kontinuálně impregnována tekutou pryskyřicí a vtahována do tvarovací a vytvrzovací hlavy. V ohřívané části vytvrzovací hlavy je pryskyřice vytvrzena a hotový profil je odebírán pomocí odebíracího zařízení a řezán na potřebnou délku. Ve vytvrzovací hlavě se používá buďto principu mikrovlnného ohřevu pro skleněná vlákna nebo indukčního ohřevu pro vlákna uhlíková. Pultruzové linky mívají obvykle horizontální členění. Nyní se pro pultruzi používají i prepregy a velmi kvalitní přímé i zakřivené profily.[1]



Obr. 6. Schéma pultruze

## 1.6 Navíjení

Při této výrobní technologii je výztuž, která obvykle tvořená skleněnými, uhlíkovými nebo aramidovými pramenci impregnovaných pojivem navíjena na jádro ve tvaru výsledného výrobku. Tímto způsobem jsou vyráběny trubky, kolena, nádrže, nádoby a jiná dutá tělesa. Výrobky dosahují vynikajících fyzikálních vlastností a mají kvalitní povrch. Rozdělujeme několik druhů navíjení podle způsobu navíjení. Mezi významné druhy patří pólové navíjení, kde jsou ramenem otáčejícím se okolo formy vlákna nanášena od pólu k pólu výrobku. Další metodou je axiální navíjení, při kterém je vlákno navíjeno v axiálním směru, a na koncích jsou vlákna přidržována pomocí systému radiálních trnů. [5]

**Výhody:**

- Velká produktivita a možnost automatizace
- Vynikající fyzikální vlastnosti
- Rychlá a ekonomická metoda

**Nevýhody:**

- Vysoká cena navíjecího zařízení
- Obtížné odstraňování vnitřních forem
- Nízká produktivita u tlakových nádrží

## 2 VAKUOVÁ INFUZE

Další z možností zpracování kompozitních materiálu je využití vakuové infuze. Vakuová infuze je děj, který využívá podtlak pro vedení pryskyřice přes suché výztuže. Nejdůležitější operací vakuové infuze je odstranění vzduchu, který se nachází pod krycí fólií před samotným vstupem pryskyřice. Vytvoření podtlaku a tím zabezpečí spojení vrstev a jejich prosycení

### 2.1 Princip vakuové technologie

Vakuová infuze využívá podtlak pro distribuci pryskyřice v položených vrstvách výztuže. Výztuž je nasucho položena do dutiny formy, na výztuž se pokládají pomocné materiály a celek je překryt vakuovou fólií. Pryskyřice je nasávána prostřednictvím systému rozvodných hadiček a pomocí distribučního média. Vyznačuje se jako technologicky nejsložitější proces při výrobě kompozitních materiálů. Proces je technologicky náročný na kvalitní utěsnění formy, aby se nedostával do pracovního prostoru vzduch, který by zamezil dokonalému přilnutí jednotlivých vrstev výztuže spolu s matricí. [10]

#### Výhody:

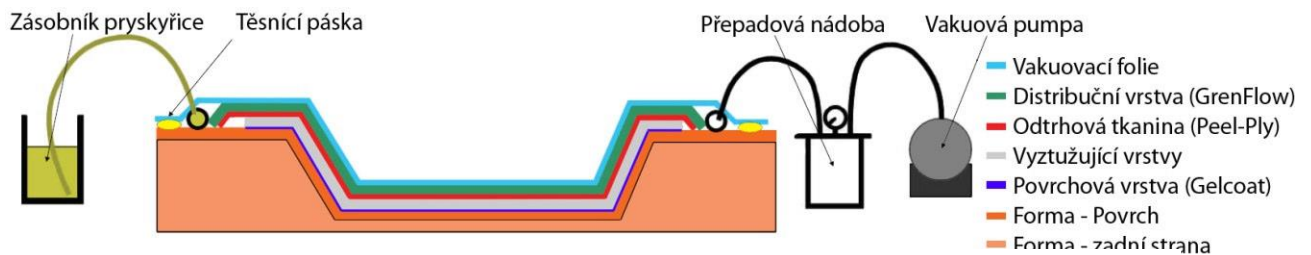
- Vysoký obsah výztuže, který nemůže být dosažen standartním ručním laminováním
- Dokonalé prosycení výztuže, díky působení podtlaku a využití pomocných materiálů, které slouží k rozvodu pryskyřice
- Eliminuje únik styrenu do ovzduší v průběhu vytvrzování pryskyřice

#### Nevýhody:

- Pomocné materiály, zvyšují náklady
- Vysoké nároky na praktickou zkušenost na pracovníka
- Příprava a kontrola je závislá na zručnosti pracovníka
- Výrobní technologie je dána především charakterem výrobku

Její volba se řídí několika zásadními faktory:

- Sériovost dílce
- Velikost a členitost výrobku
- Kvalita povrchu
- Výsledné požadované mechanické vlastnosti dílu
- Limity nákladů



Obr. 7. Schéma vakuové infuze

## 2.2 Materiály používané pro vakuovou infuzi

Důležitým prvkem při využití vakuové infuze jsou pomocné materiály, které jsou nutné kvůli průběhu a výsledku celého procesu. Z pomocných materiálů se po dokončení výroby a odformování stává odpad. Díky těmto materiálům se při vakuové infuzi dosahuje dobrých vlastností, avšak také roste konečná cena výrobku. Počet komponentů určuje tvar a typ výrobku. [8]

### 2.2.1 Vakuovací folie

Používá se k utěsnění celé formy a rovnoměrnému rozložení tlaků na povrchu materiálu. Folie je flexibilní, odolná proti přetržení, odolná proti matrici a je průhledná. Materiál folie se volí podle matrice, teploty použití nebo členitosti výrobku. Vyrábí se především z materiálu nylon, polyamid nebo polyetylen. Pro vysoké teploty se používá PTFE. Tloušťka folie je maximálně 0,08mm. Rozměr folie se volí o 30 až 40% větší než výrobek. [13]

### 2.2.2 Odtrhová tkanina

Jedná se o tkaninu ze syntetických vláken, která se pokládá jako první přímo na výztuže výrobku. Odtrhová tkanina se při odformování strhává z výrobku a tím vzniká drsný povrch potřebný pro další technologické operace jako je laminování, lepení a další povrchové úpravy. Vyrábí se převážně z polystyrenu, ale může být vyrobena i z nylonu. Dále slouží k oddělení všech pomocných materiálů, které jsou následně kladeny na ní. [13]



Obr. 8. Odtrhová tkanina

#### **Posloupnost kladení jednotlivých vrstev při výrobě součásti:**

- Výztuž
- Strhávací tkanina
- Rozvodná mřížka
- Odsávací tkanina
- Vakuovací folie

### 2.2.3 Distribuční médium – rozvodná síť

Rozvodná síť zabezpečuje lepší rozvod pryskyřice, protože jinak by byl rozvod pryskyřice zabezpečen pouze působením tlakem. Rozvodná síť urychluje tok pryskyřice do suché tkaniny, díky další vrstvě materiálu. Používá se několik druhů rozvodu pryskyřice. Prvním druhem je povrchový rozvod, kde se používá rozvodová tkanina. Dalším způsobem je tzv. mezilaminární rozvod, při kterém se používají speciální 3D tkaniny, které se vkládají mezi výztuž. Volí se podle toho, jaké materiály použijeme na vakuovou infuzi, podle použitého druhu pryskyřice, dále podle zpracování a podle požadavků na výslednou hmotnost výrobku. [5]



Obr. 9. Rozvodná síť

### 2.2.4 Rozváděcí kanál

Rozváděcí kanál je tenká pletená páska, která pomáhá lepšímu toku a rozvodu pryskyřice při procesu vakuové technologie. Páska bývá vyrobena nejčastěji z polyesteru a má svůj speciální tvar. Slouží k dopravě matrice do méně přístupných míst. Po výrobě je spolu s ostatními technologickými vrstvami odtržen jako odpad. [4]



Obr. 10. Rozváděcí kanál

### 2.2.5 Těsnící páska

Těsnící páska slouží k vytvoření vzduchotěsného, plastického spoje mezi formou a vakuovou folií. Je to oboustranná páska tloušťky 2-3 mm, která je jednou stranou přilepena k formě a druhou k vakuové folii. Slouží k utěsnění prostoru mezi přívodní hadicí a konektorem. Podle teploty se používají různé druhy pásek. [9]



Obr. 11 Těsnící páska

### 2.2.6 Hadice pro dopravu pryskyřice

Hadice slouží k odsátí vzduchu z formy a tím k vytvoření vakua a k dopravě pryskyřice do formy, slouží také k odvodu přebytečné pryskyřice do rezervoáru. Hadice je odolná proti teplotě a chemickému složení. Bývá vyrobena z PE či PVC. Spirálová hadice se používá k rozvodu pryskyřice do špatně přístupných míst a k odsávání přebytečné pryskyřice. [12]



Obr. 12. Rozvodná hadice



### 2.2.7 Konektor

Konektor slouží k propojení přívodu pryskyřice a formy. Toto propojení je levné a efektivní, používá se pro nízkoteplotní aplikace do teploty 80°C. Konektor je vyrobený z polyetylenu. Liší se podle velikosti konektoru, pro vyšší teploty se používá konektorů z vyrobených např. z duralu. [12]



Obr. 13. Rozvodný konektor

### 2.2.8 Vakuová vývěva

Vývěva je plynové čerpadlo, které odčerpává vzduch z uzavřené formy a vytváří tak částečné vakuum. Díky vzniklému vaku se nasává pryskyřice ze zásobníku do prostoru formy výrobku a přebytečná pryskyřice se odsává do rezervoáru. Pro vakuovou infuzi je potřeba vytvořit podtlak 0,8 až 1 bar. [12]



Obr. 14. Vakuová vývěva

### 2.2.9 Rezervoár

Rezervoár je nádoba, která slouží k zachycování přebytečné pryskyřice. Nádoba má jeden otvor pro vakuový vstup a až tři otvory pro vstupy pryskyřice, aby bylo možné současně provádět několik infuzí. Každý vstup je vybaven pojistným ventilem. Na rezervoáru je umístěn regulátor vakua pro potřebné snížení podtlaku a zabránění úniku pryskyřice. [3]



Obr. 15. Rezervoár

### 2.2.10 Fixační lepidlo

Slouží k zafixování výztuže a pomocných materiálů proti pohybu při chystání infuze. [12]

### 2.2.11 Ochranné pomůcky, bezpečnost při práci s kompozitními materiály

Při práci s kompozitními materiály a následným zpracováním výrobků, stejně tak jak při jejich přípravě je nutné dodržet několik zásadních pravidel pro ochranu zdraví pracovníka. Protože se jedná o chemické látky je nutné si chránit kůži pomocí rukavic odolných vůči používaným pryskyřicím a oči pomocí brýlí, dále je doporučeno mít dlouhé rukávy a zakrytý povrch pokožky. Nezbytně nutné je též chránit dýchací ústrojí a to pomocí ochranné masky s uhlíkovými filtry bránící vdechování vypařujících se rozpouštědel. Taktéž je nutné, aby byl zmiňovaný filtr opatřen filtrem prachových částic, který zabrání vdechování prachových částic vznikajících při následném zpracovávání materiálu, jako je například řezání. Veškeré práce taktéž musí probíhat v prostoru se vzduchovým odsáváním. [11]



Obr. 16. Ochranná polomaska

### 2.2.12 Pomocné materiály potřebné pro zpracování

Při práci s kompozitními materiály je taktéž nutno použít jiných pomocných materiálů, bez kterých by nebylo možno efektivně s materiály pracovat. Mezi tyto materiály jsou řazeny váhy a odměrné válce pro správné namíchání pryskyřic, míchací pomůcky pro dokonalé promíchání jednotlivých složek. Dále tu řadíme např. nůžky určené pro stříhání technických tkanin, řezací kolečka, nádoby na pryskyřice a hadice na vedení pryskyřice při infuzi. Nedílnou součástí těchto soustav jsou taktéž ventily, pomocí kterých regulujeme potřebné veličiny. [8]

### 3 VYZTUŽUJÍCÍ SYSTÉMY A PRYSKYŘICE PRO VAKUOVÉ TECHNOLOGIE

Výztuž je fáze kompozitu, kvůli jejímž vlastnostem se daný kompozit vyrábí. Má dané vlastnosti, kterých chceme při výrobě využít a uplatnit, tato fáze by však v elementární podobě nedosahovala požadovaných vlastností, jelikož její jiné vlastnosti to neumožňují. Jedná se o nespojitou, pevnější tvrdší a tužší fázi. Výztuž a její natočení v matrici ovlivňuje výrazným způsobem nejen mechanické vlastnosti výsledného kompozitu. Rozdělují se dle několika základních kritérií a to podle velikosti, tvaru a materiálu, ze kterého je výztuž vyrobena.

**Výztuže je možno je dělit na:**

- Částicové výztuže
- Vláknové výztuže

#### **Částicové výztuže**

Částice mohou být buďto minerálního původu, připravující se průmyslově mechanickým mletím na požadovaný tvar a velikost nebo jsou vyráběna pomocí chemických změn z přírodních materiálů. Druh výrobní technologie ovlivňuje tvar a velikost částice. Tvar částic může být krychlový, kulový, destičkový, tyčinkový nebo nepravidelný. Částicové výztuže mají vlastnosti nezávislé na směru. Zvýšení tuhosti a zlepšení tvarové stálosti se dosahuje použitím anorganických částic. Podmínkou při tvorbě částicových kompozitů je zachovat minimální rozdíl teplotní roztažnosti všech fází. [1]

### Vláknové výztuže

Ve většině případů se používají při výrobě kompozitů vláknové výztuže. Vysoké hodnoty vlastností jako poměrů modulu pružnosti k hustotě a pevnosti v tahu k hustotě činí z těchto kompozitů velmi vhodné materiály pro uplatnění ve všech možných odvětvích. Orientací vláken lze optimalizovat výsledné vlastnosti kompozitu jako pevnost a tuhost, odolnost proti únavě, teplotě a vlhkosti. Rozdělujeme je dle poměru délky k průměru a to na krátkovláknové, kde poměr délky k průměru vlákna je menší než sto, nebo dlouho vláknové, které mají poměr délky k průměru větší než sto. Obvykle je délka vláken rovna délce součástí. Nejpoužívanějšími vlákny jsou uhlíková, skleněná, aramidová. [8]

### Vlákna jsou dodávána v několika typech polotovarů jako:

- příze – spředené prameny vláken zpevněné zkruty (0 - 400 zkrutů na 1m)
- pramenec (roving) – rovnoběžné prameny bez zkrutů
- rohož – neuspořádaná vlákna spojena pomocí polymerního pojiva, které se rozpustí v pryskyřici při dalším zpracování
- jednosměrné tkaniny – spletené plátno s větším počtem vláken v podélném směru (tzv. osnově) a menším počtem vláken v příčném směru (tzv. útku), průměr vláken v osnově bývá obvykle větší než průměr vláken v útku
- prostorové tkaniny – prostorově uspořádaná vlákna do tří směrů spojena pomocí polymerních pojiv rozpustných v pryskyřicích
- pleteniny – spletení vláken do očkovitého tvaru
- prepregy – polymerem (matricí) předimpregnované a částečně vytvrzené rohože, tkaniny, rovingové pásy, které se po vytvarování součástí vytvrdí působením tepla a vakua bez nutnosti přidání pojiva

### 3.1.1 Skelná vlákna

Nejběžnější skleněná vlákna se vyrábějí především ze skloviny označované, jako E sklo. Velmi často se používají především v kompozitech s plastovou matricí. Vlákna se nyní vyrábějí kontinuálně, tzn., že na jednom konci pece se sází sklářský kmen a na druhém se vytahuje vlákno. Potřebný průměr vláken se dosáhne dloužením proudu skla tekoucího tryskami (průměr 1 mm). Výsledný průměr závisí na rozdílu vytékání skloviny a odtahování vlákna. Toto vlákno má nejčastěji od 3,5 do 20  $\mu\text{m}$ . Jednotlivá vlákna se sdružují do pramene a dále se navíjí na navíjecí zařízení. Najednou se táhne 51 až 408 vláken. Mez pružnosti skleněného vlákna je kolem 3% a nemá viskoelastické chování jako syntetická vlákna. Tepelné vlastnosti skleněných vláken jsou lepší než u jiných materiálů. Dlouhodobé teplotní působení 250 °C nesnižuje hodnoty mechanických vlastností. Jsou nehořlavá a tudíž ohnivzdorná. Modul pružnosti v tahu je přibližně stejný jako u hliníku a činí asi třetinu hodnoty oceli. Vzhledem k nižší hustotě skla je hodnota měrné pevnosti vláken velmi vysoká. Součinitel teplotní délkové roztažnosti skleněných vláken je nižší než u většiny konstrukčních materiálů. [11]



Obr. 17. Skelná tkanina

### 3.1.2 Aramidová vlákna

Aramidová vlákna obchodním názvem kevlar na bázi lineárních organických polymerů, jejich kovalentní vazby jsou orientovány podle osy vlákna. Výroba probíhá spřádáním z vysokoviskozního 20 % roztoku v koncentrované kyselině sírové. Kde se jednotlivá vlákna spojují a pro zlepšení zpracovatelnosti se mnohokrát propírají, neutralizují a propírají aviváží (pomocný prostředek pro zlepšení kluzných a zpracovatelských vlastností). Předností aramidových vláken je vysoká pevnost a tuhost. Molekuly jsou vzájemně spojeny vazbami vodíkových můstků. Aramidová vlákna se mohou zpracovávat se všemi reaktivními pryskyřicemi i termoplasty. Jsou nejlehčí vyztužující vlákna, z čehož plyne vysoká měrná pevnost v tahu. Aramidová vlákna ve formě kompozitu vzdorují teplotě až 300 °C aniž by se roztavila, proto jsou vhodná pro protipožární ochranné obleky, neprůstřelné vesty. [7]



Obr. 18. Aramidová tkanina

### 3.1.3 Uhlíková vlákna

Uhlíková vlákna jsou vyráběna zcela odlišným způsobem výroby oproti kovovým, skelným, křemenným nebo polymerním vláknům, protože na rozdíl od těchto vláken uhlík netaje, má odolné vlastnosti vůči rozpouštědlům a není možno ho táhnout. Proto jsou uhlíková vlákna, stejně jako ostatní uhlíkové materiály, vyráběny pomocí řízené pyrolýzy organických prekurzorů. Jedná se o dlouhý, tenký pramen materiálu o průměru 5–8  $\mu\text{m}$  složený převážně z atomů uhlíku. Tyto prekurzory musí mít již formu vlákna, případně plsti nebo textilie, protože karbonizace těchto netajících prekurzorů uchovává jejich tvar. Izotropní vlákna, případně plsti nebo tkaniny, takto získaná mají jen průměrné mechanické vlastnosti. Proto jako uhlíková vlákna budeme označovat až vlákna s vysokými mechanickými vlastnostmi,



u kterých je odolnost mnohem vyšší než odolnost ocelí a zároveň mají nižší hustotu. Vlákna s vysokými mechanickými vlastnostmi jsou v dnešní době používána pro výrobu kompozitních materiálů, které nacházejí stále větší uplatnění zejména v oblasti leteckého průmyslu, kosmického výzkumu, automobilového průmyslu, pro výrobu různých sportovních potřeb a součástek pro další průmyslová odvětví.[12]



Obr. 19. Uhlíková tkanina

### 3.1.4 Hybridní tkaniny

Pod pojmem hybridní tkaniny rozumíme takové tkaniny, které mají více než jeden typ strukturních vláken. Pokud je ve vícevrstvě laminátu třeba použít více typů materiálu, je možné použít více typů tkanin, a to každou, která by obsahovala vlákno, které je třeba. Nicméně pokud vyžadujeme extrémně nízkou váhu a tloušťku můžeme využít hybridních tkanin, ve kterých každá vrstva obsahuje dva typy vláken. Nejčastěji používanými typy hybridních tkanin jsou uhlík/aramidové, aramid/skelné a uhlík/skelné u těchto hybridních tkanin kombinujeme dobré vlastnosti v tahu a tlaku s cenou daného materiálu.[13]



## 3.2 Matrice

Matrice v kompozitu zajišťuje spojení výztuže v kompaktní celek, udržuje výztuž ve správné orientaci a přenáší na ni a mezi ni rovnoměrně zatížení. Matrice také chrání výztuž před vnějšími vlivy, odděluje jednotlivé částice výztuže od sebe a zabraňuje tak spojitému šíření trhliny a poškození. Funkci pojiva by si matrice měla udržet i po prvních poruchách výztuže a musí být dostatečně pružná, aby nedošlo při tahovém namáhání k jejímu porušení dříve než k poruše vláknů. Tento požadavek splňují pouze polymerní a kovové matrice. Kompozit poskytuje také mezilaminární smykovou pevnost. Matrice určuje i vlastnosti kompozitu, jako je například smršťivost při vytvrzování, chemická odolnost. [1]

### 3.2.1 Polymerní matrice

Polymerní matrice jsou používány pro svou dobrou korozivzdornost, dobré dielektrické vlastnosti a elektrickou nevodivost při použití se skleněnými, křemennými a polymerními vlákny. Mají také dobrou propustnost pro rentgenové záření při použití s uhlíkovými vlákny. Polymerní matrice se dělí na reaktoplasty a termoplasty. Kvůli snaze o recyklovatelnost materiálu kompozitních dílů vyráběných ve velkých sériích vede k nahrazování reaktoplastů termoplasty. [1]

#### 3.2.1.1 Polyesterové pryskyřice

Se podle své chemické struktury dělí na ortoftalové, izoftalové a tereftalové typy, v tomto pořadí obecně stoupají jejich mechanické vlastnosti, teplotní a chemická odolnost. Ještě lepších vlastností lze dosáhnout použitím vinylesterových pryskyřic s teplotní odolností až do 160°C a dlouhodobou chemickou odolností vůči většině agresivních látek – např. kyselinám, hydroxidům a rozpouštědlům. Monomerem a síťujícím činidlem je u těchto pryskyřic styren. Pryskyřice se pro zlepšení zpracovatelských podmínek dodávají i s přídavkem urychlovačů, speciálních voskových složek pro snížení odparu zdraví škodlivého styrenu případně s přídavkem tixotropních složek, upravujících viskozitu a snižujících stékání pryskyřice ze svislých stěn. Pro povrchové vrstvy, dodávající výrobku povětrnostní a chemickou odolnost a zajišťující estetický efekt se používají speciální polyesterové pryskyřice obsahující různá aditiva, zejména barevné pigmenty, UV stabilizátory a další složky. [2]

### 3.2.1.2 *Epoxidové pryskyřice*

Se vyznačují lepšími mechanickými, zejména dynamickými, vlastnostmi, použitím vhodných tvrdidel lze získat i vyšší teplotní odolnost – až do 180°C. Neobsahují škodlivý styren. Epoxidových pryskyřic je řada typů, nejběžnější jsou na bázi bisfenolu A nebo bisfenolu F. Vhodných technologických vlastností, zejména snížení viskozity, se dosahuje mísením epoxidových pryskyřic s tzv. reaktivními ředidly, kterých se nabízí velký výběr. Volbou správného typu lze zlepšit i další vlastnosti pojivového systému, např. teplotní odolnost a snížení hořlavosti. Teplotní odolnost matrice se vyjadřuje buď hodnotou  $T_g$  – teplota skelného přechodu, tj. teplota, pod kterou vytvrzený polymer zůstává v tzv. skelném stavu, makromolekuly jsou pevně fixovány v polymerní síti. V tomto stavu si kompozit zachovává potřebné mechanické vlastnosti, nad touto teplotou do jisté míry měkne a počíná jeho teplotní destrukce a stává se tedy nepoužitelným. Teplotní odolnost lze vyjádřit i hodnotou HDT (heatdistortiontemperature), tj. mezní teplota, nad níž těleso kompozitu vystavené ohybovému zatížení vykazuje nepřípustnou deformaci (průhyb). Hodnoty  $T_g$  a HDT jsou vodítkem pro použití kompozitů, které by neměly být dlouhodobě vystavovány teplotám, daným hodnotami  $T_g$  nebo HDT minus 20°C. Specialitou jsou tzv. hybridní pryskyřice, které jsou kombinací běžných polyesterových a polyuretanových pryskyřic.[11]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

#### 4 VÝBĚR KONTRUKČNÍ SOUČÁSTI PRO VAKUOVOU INFUZI S VYUŽITÍM HYBRIDNÍCH VLÁKEN

Jako součást pro výrobu za pomoci vakuové infuze s použitím hybridní výztuže byl vybrán kryt pod čelní sklo, tzv. "torpédo" pro závodní vůz Škoda Fabia druhé generace, jezdící autocrossové závody v třídě Touring.

Na tento díl nejsou kladeny žádné pevnostní nároky, avšak musí splňovat dobrou tepelnou odolnost, kvůli umístění turbodmychadla, které se nachází na spolujezdcově straně, motor je zde uložen podélně. Turbodmychadlo produkuje příliš tepla a deformuje originální díl, který je vyroben z ABS a rovněž musí být co nejlehčí, aby vozidlo splňovalo minimální povolenou váhu 1200kg. V dílu se nachází větrací otvory, kterými proudí teplý vzduch, a také jsou v něm otvory pro stěrače vozu. Jedná se o tvarově poměrně složitý díl.



Obr. 20. Originální díl

## 5 EXPERIMENTÁLNÍ PROVEDENÍ VAKUOVÉ INFUZE

V této části bakalářské práce je detailně popsán použitý postup při výrobě výrobní formy a následně celého dílu. Výroba dílu probíhala ve školních laboratořích na U15 a U5.

### 5.1 Příprava na výrobu formy

V první části bylo nutné vyrobit formu pro díl. Nejprve bylo nutné podlepit všechny otvory tak, aby nedošlo k zatečení pryskyřice a následně by tak mohl vzniknout mechanický spoj, který by bránil vyjmutí originálního dílu z formy. Na podlepení jsem zvolil ve škole používanou popisovací průhlednou fólii, která je vyrobena z PVC a dobře se s ní pracuje při stříhání i výrobě daného tvaru za pomoci obkreslení otvoru na papír a následného přenesení na fólii. Tyto připravené kousky jsem přilepil na díl pomocí tavné pistole.

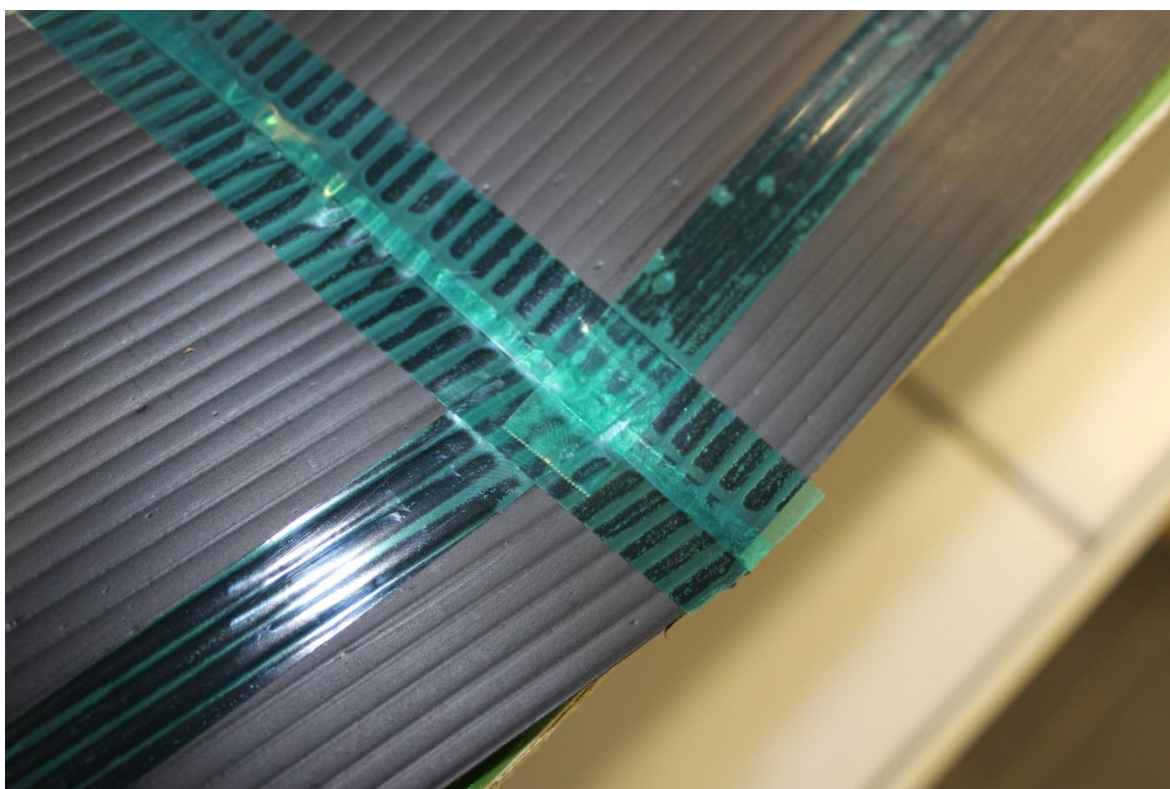


Obr. 21. Podlepení dílu PVC folií

Následně byl celý díl podlepen komůrkovým polypropylenem tloušťky 3mm, taktéž za pomoci tavné pistole. Jelikož jsou použité tabule dodávány v rozměru 250x600mm bylo je nutné nastříhat a zařezat do požadovaného tvaru, aby při následném lepení tavnou pistolí proběhl proces co nejrychleji než lepidlo z tavné pistole zchladne a přestane tak lepit.

Zároveň bylo nutné dodržet návaznost těchto dílů, aby například některá z částí nepřechňovala víc než ostatní.

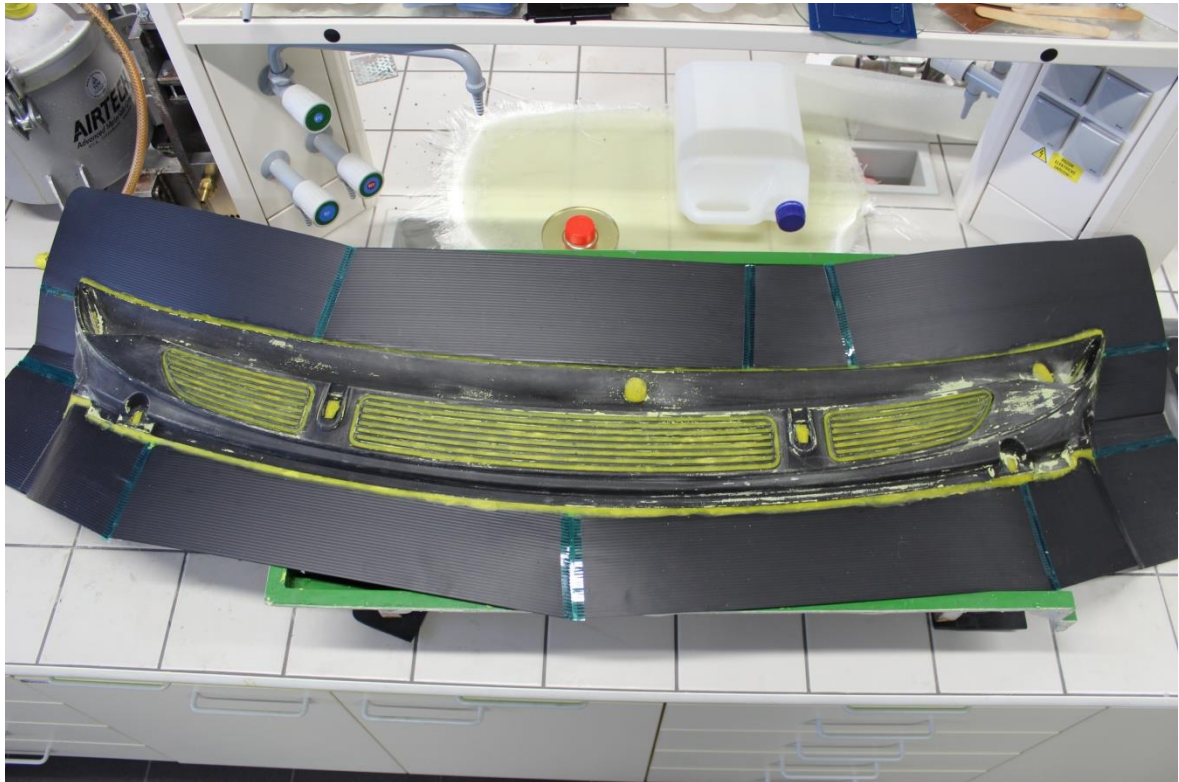
Na takto předchystaném dílu bylo nutné zalepit přechody vzniklé slícováním polypropylenových tabulí. Na přelepení spojů byla použita pevná PET páska, která je odolná vůči chemikáliím a zanechá krásný, lesklý povrch na dílu. Stejnou páskou byl oblepen ještě obvod dílu, kvůli dokonalému přilnutí butylkaučukové těsnicí pásky při následném vakuování. Obvod byl dostatečně zvětšen, kvůli místu potřebnému pro pomocné materiály a prostoru pro rozvodný systém.



Obr. 22. Zalepení spojů PET páskou

Následně byly všechny podlepené otvory vymazány těsnicí plastickou hmotou Nakiplast, která je kombinací včelího vosku a plastelíny. Tato hmota má několik dobrých vlastností ze kterých je třeba zmínit dobrou zpracovatelnost, kterou je možno zlepšit nahřátím. Pomocí této modelovací hmoty byl taktéž vytvořen kladný úkos na přechodu mezi dílem a podlepeným polypropylenem. Tento krok bylo nutné učinit kvůli snadnému vyjmutí hotového výrobku z formy a kvůli následnému ořezání, při kterém tento slouží jako vodící linka.





Obr. 23 Předchystaný díl pro výrobu formy

## 5.2 Separace výchozího dílu

Dále je nutné formu naseparovat pomocí separačního vosku Blue Wax, kvůli dobrému oddělení formy od originálního dílu. Vrstvy byly postupně nanесeny tři za pomoci molitanové houby, která zaručí rovnoměrnou vrstvu vosku. Po zavadnutí každé z nich je vrstva rozleštěna a následně až po vyleštění je nanесena vrstva další. Vzhledem k dosaženým výsledkům by bylo vhodnější zvolit jinou metodiku a to postupné nanесení plniče pórů, následné nanесení separačního vosku a na horní vrstvu by bylo vhodné použít PVA, který by vytvořil lesklý a rovnoměrný povrch formy.



Obr. 24. Separáční vosk Blue Wax

### 5.3 V yrob a formy

Další  as t i je samotná v yrob a formy, které předcházely výše zmíněné úkony. V první fázi v yrob y bylo nutné nanést polyesterový gelcoat. Gelcoatem nazýváme povrchovou vrstvu formy, která zaru i při dodržení technologického postupu okopírování povrchu modelu včetně jeho vad, bývá leštitelný. Jedná se o pohledovou vrstvu formy. Aby se s vrstvou dalo dále pracovat za co nejkratší  as bylo nutné pou it peroxidové tužidlo Butanox LPT, které dok aze proces vytvrzování urychlit cca. na 30 min oproti 60 min při použití Butanoxu-M50. Tužidla se přidávají 3hm.% k váze gelcoatu. Nanášení probíhalo natíráním za pomoci  et ky a to ve směru p r i n em i podélném. N asledn e zpracování je možné ve chvíli kdy začne povrch gelovat et. Tento stav je určen tak, že při dotyku s vrstvou nesmí být tažen vlas a vrstva zůstává lepkavá.





Obr. 25. Díl po nanesení gelcoatu

Po zavadnutí gelcoatu byla provedena laminace, na kterou bylo nutné připravit laminovací polyesterovou pryskyřici. Jako tužidlo byl zvolen zmiňovaný peroxidový vytvrzovací systém Butanox-M50, tentokrát kvůli delší době zpracovatelnosti, která u tohoto dílu trvala 45 min.



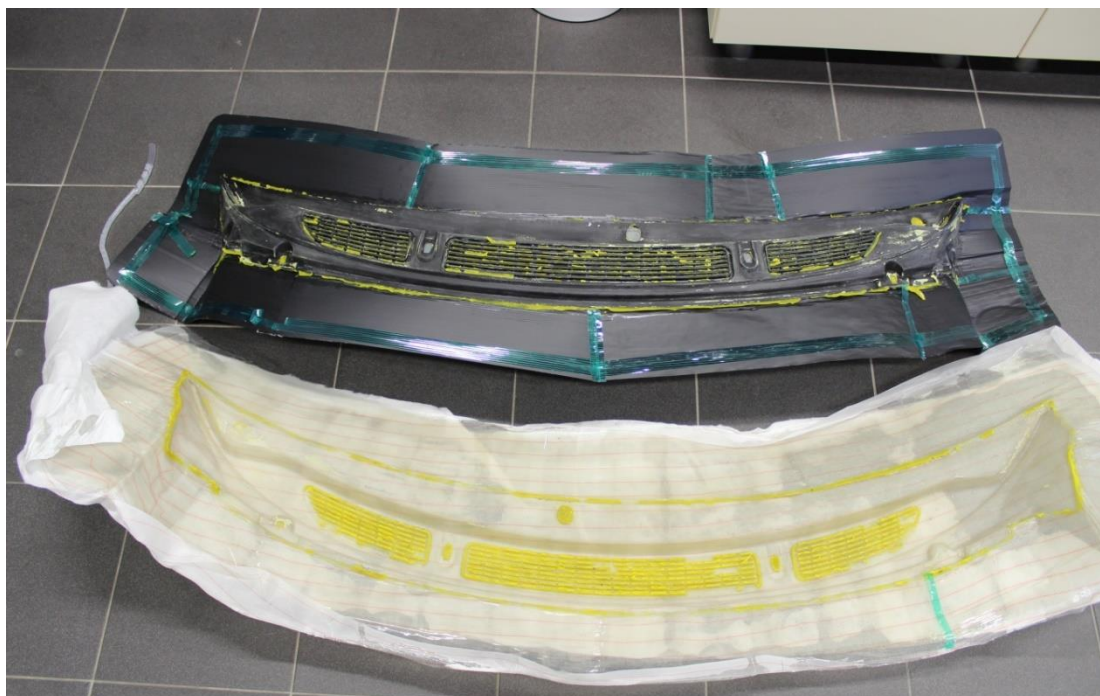
Obr. 26. Laminace formy

Samotná laminace byla provedena tak, že na vrstvu gelcoatu byly nanášeny příčně předchystané pásy ze skelné tkaniny gramáže 275g/m<sup>2</sup> vzájemně se překrývající.

Tato tkanina byla zvolena z důvodu dobré přizpůsobitelnosti tvarově členitému povrchu a zároveň dobrých krycích vlastností. Tyto pásy byly přetírány pryskyřicí. Po vytvoření jedné vrstvy následovalo nanesení dalších vrstev, tentokrát ze skelné rohože gramáže 400g/m<sup>2</sup> která byla zvolena, aby měla forma dostatečnou tuhost. Tímto způsobem byly vytvořeny celkem čtyři vrstvy. Jelikož bylo nutné zajistit, aby nedošlo ke vzniku vzduchových bublin a tím k nepoužitelnosti celé formy následovalo přidání odsávací a poté dýchací tkaniny.

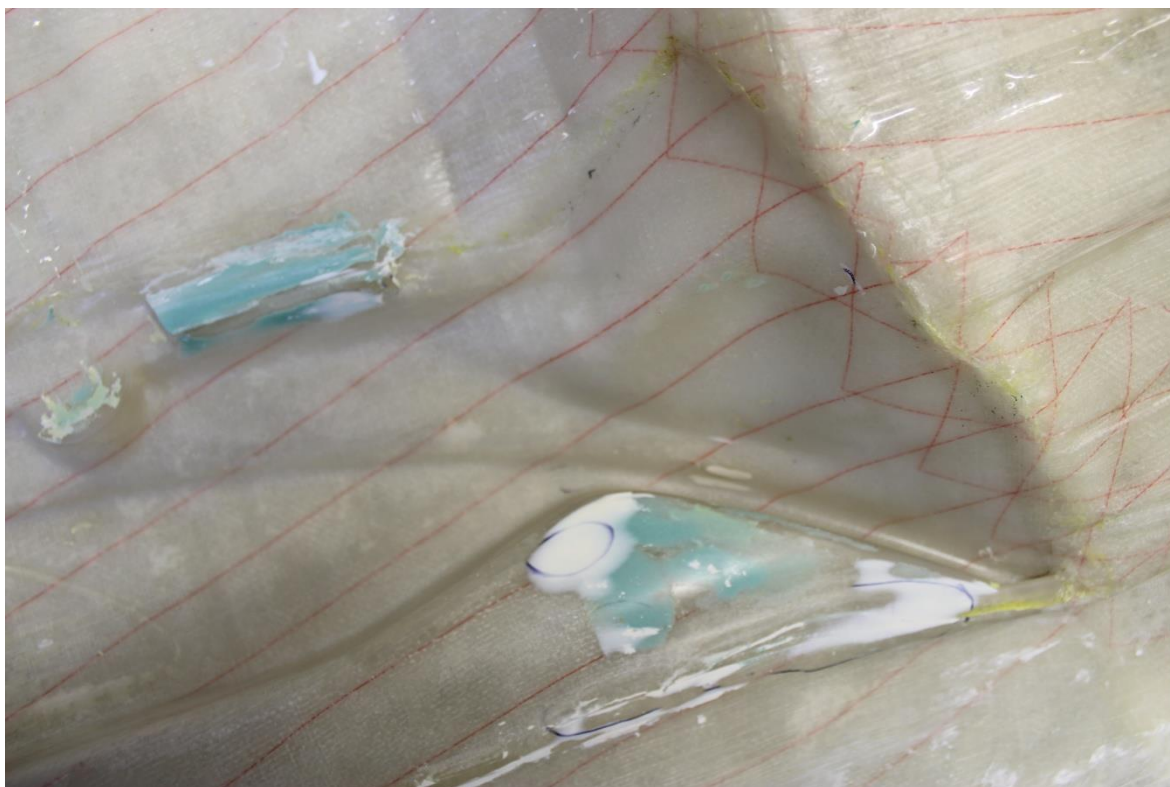
Dalším krokem bylo vložení takto připravené formy do pytle, který je vyroben z polyolefinového rukávu u kterého bylo jedno čelo vylepeno butylkaučukovou páskou. Po vložení formy bylo zalepeno i druhé čelo, aby bylo možno připojit vývěvu, odsát přebytečný vzduch, aby došlo k vylisování formy.

Po vytvrzovací době určené výrobcem byl tento polotovar vyjmut z pytle, byly strhnuty vrstvy a následovalo odformování formy a základního dílu. Výsledek byl uspokojivý avšak povrch formy nebyl homogenní a nacházely se na něm nežádoucí místa s důlky a povrchovými vadami.



Obr. 27. Forma po odformování

Kvůli dosažení optimálního a lesklého povrchu výsledného kompozitního dílu bylo tyto vady zakapány gelcoatem, následně zabroušeny a forma byla vyleštěna. Broušení probíhalo v několika krocích, kdy byly použity smirkové papíry v hrubosti 120,320 poté pod vodou 600, 800, 1200, 1600. Následně byl povrch formy vyleštěn pomocí speciální leští paty od firmy 3M. Kvůli složitosti dílu muselo proběhnout broušení a leštění ručně.

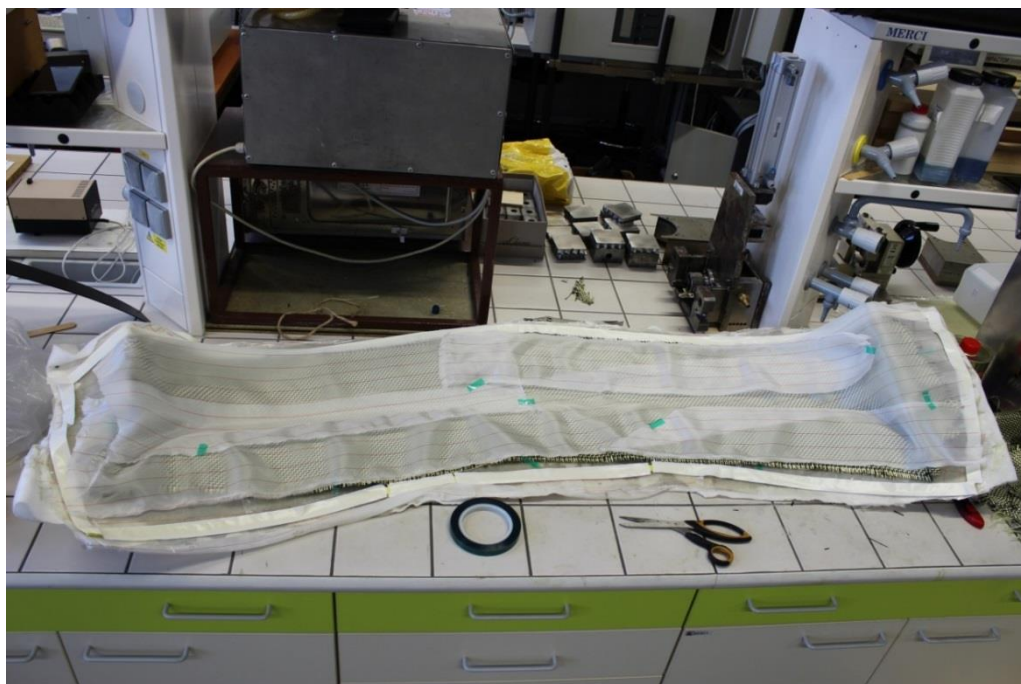


Obr. 28. Vymělení povrchových vad formy

#### 5.4 Provedení vakuové infuze

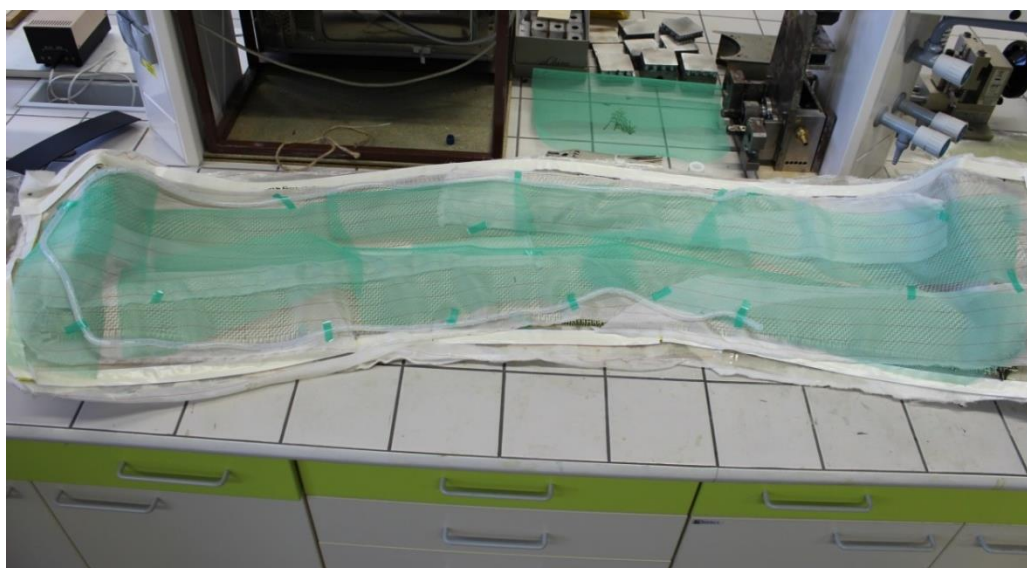
Takto připravenou formu bylo nutno nachystat na samotný proces vakuové infuze. Nejprve byla forma opět navoskována separačním voskem Blue Wax a po zavadnutí vyleštěna. Tento proces se opakoval třikrát. Poté byl do formy umístěn předpřipravený materiál v pořadí: pohledová uhlíková tkanina, hybridní aramid/uhlíková tkanina, strhávací tkanina a rozvodná mřížka. Každou vrstvu bylo nutné pečlivě vystříhnout dle předpřipravené šablony a pomocí PET pásky přichytit k formě.





Obr. 29. Odtrhová tkanina

Jedním z nejdůležitějších následných kroků bylo vhodně vymyslet a nachystat rozvodný systém spolu se vstupem infuze do formy a výstupem k vývěvě. Vstup byl umístěn v příčném směru kvůli kvalitnímu prosycení tkaniny. V úvahu připadal i podélný směr avšak muselo by být umístěno více výstupních otvorů a celý proces by tak byl složitější. Po celém obvodu formy byl umístěn rozvodný kanál.



Obr. 30. Rozvodný systém

Tak jako při výrobě formy bylo nutné celý prostor vzduchotěsně uzavřít, k tomu posloužila butylkaučuková páska. Jako vakuovací folie byla použita výše uvedená polyolefinová folie, která je pružná a dokonale obepne předešlé vrstvy a zaručí tak tlak potřebný na přilnutí vrstev a prosycení tkaniny. Folie musí být ustřižena s dostatečnou rezervou, aby bylo zaručeno dokonalé obepnutí celého tvaru a všech koutů i rohů.

Před samotným vakuováním je nutno vysát vzduch z formy a ujistit se, že připravená forma je opravdu vzduchotěsná. Pokud ne, je nutno najít místa kudy do pracovního prostoru vniká vzduch a tyto chyby opravit. Pokud ano a nevzroste ve formě tlak po cca. 15minut od vysátí vývěvou je možno přejít k samotné infuzi.



Obr. 31. Díl před infuzí

Na tento díl byla použita univerzální pryskyřice typu Biresin L84. Pomocí váhy bylo naváženo potřebné množství obou složek. Takto předpřipravené složky jsou následně promíchány v nádobě na pryskyřici za pomoci míchacího nástroje.



Obr. 32. Vysátý pracovní prostor

Dalším krokem je samotná infuze, při které je přívodní hadice ponořena do nádoby s pryskyřicí a je otevřen přívodní ventil. V průběhu infuze je pozorován tok a prosycení tkaniny. Po prosycení celého pracovního prostoru je uzavřen přívodní ventil a je vyčkáno na odsátí přebytečné pryskyřice do rezervoáru. Je doporučováno nechat běžet vývěvu do doby, zgelovatění pryskyřice, aby bylo zamezeno přístupu vzduchu do pracovního prostoru před počátkem vytvrzování. Tato doba je určena z materiálového listu uváděného výrobcem.





Obr. 33. Průběh vakuové infuze

## 5.5 Ořezání dílu

Takto vyrobený díl bylo dále nutné ořezat a dodělat potřebné úpravy. Ořezání je prováděno pomocí ruční mikrobrusky s řezným kotoučem a za dodržení výše uvedených bezpečnostních pokynů, jako je nutnost chránění zraku, dýchacího ústrojí a odsávání prachu. Díl byl nejprve ořezán po obvodě a následně do něj byly vyřezány větrací otvory. Tyto otvory byly řezány za pomoci dvou řezacích kotoučků vedle sebe, aby byla dodržena konstantní šířka drážky. U této činnosti je nutno mít dostatečnou trpělivost, jelikož každé pochybení může znamenat znehodnocení dílu a tím tak dosud vynaloženého úsilí.



Obr. 34. Díl před ořezáním

## 5.6 Dodatečná úprava dílu

Takto předpřipravený díl byl dodán závodnímu týmu, který si do něj dále vyvrtal montážní otvory pro uchycení a podlepil nejvíce teplotně namáhanou část termo folií odolávající vysokým teplotám.



Obr. 35. Ořezaný díl umístěný na automobil





Obr. 36. Pohled na automobil s umístěným dílem

## 6 VÝZKUM TYPU PRYSKYŘICE

Z důvodu nedostatečné rychlosti toku pryskyřice a viditelně nedokonalého prosycení povrchu tkaniny byl následně proveden experiment ve formě porovnání jednotlivých vlastností za použití hybridní tkaniny a pryskyřic: laminovací a víceúčelová pryskyřice Biresin L84, laminační pryskyřice L285, laminační pryskyřice LG 700 pro RTM.

### 6.1 Příprava pracovního prostoru

V první fázi, bylo nutné přichystat zkušební vzorky 100x20mm z desek 300x300mm, které byly vyrobeny ve třech provedeních pro každou jednotlivou pryskyřici. Jako pracovní plocha byla použita skleněná tabule, která zaručí dokonale rovný a lesklý povrch zkušebních vzorků a eliminuje tak případné chyby povrchu podkladu. Tabuli bylo nutno před samotným začátkem příprav očistit škrabkou a odmastit od veškerých nečistot, které by mohly ovlivnit výsledek porovnávání.

### 6.2 Příprava pro vakuovou infuzi

Na očištěnou a odmaštěnou skleněnou tabuli byla rozmístěna předstříhaná hybridní tkanina a vyznačena pracovní poloha. Skleněnou tabuli je nejprve nutno navoskovat za pomoci přípravku Blue Wax ve třech vrstvách, každá vrstva je po zavadnutí rozleštěna, teprve poté je nanesená následující vrstva. Jsou však voskovány pouze vyznačené plochy, aby byla zaručena dobrá přilnavost butylkaučukové pásky a dokonalému vzduchotěsnému uzavření pracovního prostoru.



Obr. 37. Příprava pracovního prostou před výrobou vzorků

Na takto předchystanou pracovní plochu byly kladeny jednotlivé vrstvy hybridní tkaniny ve třech vrstvách, následně odtrhová tkanina, na kterou byla umístěna rozvodná mřížka a rozvodné hadičky. Hadičky odvádějící přebytečnou pryskyřici byly spojeny do jednoho společného vývodu pomocí T spojek, aby nebylo nutné při každé infuzi přepojovat vývod do rezervoáru. Na takto předchystané byla umístěna PVC vakuovací folie, která byla přilepena na butylkaučukovou lepicí pásku.



Obr. 38. Příprava na vakuovou infuzi

### 6.3 Průběh vakuové infuze

Po ověření, vzduchotěsnosti systému bylo možno provést vakuovou infuzi. Zkoušení bylo provedeno v pořadí pryskyřice typu Biresin L84, LG 700, L285. V níže uvedené tabulce jsou naměřené hodnoty doby prosycení tkanin.

Tab. 1. Doba prosycení tkaniny

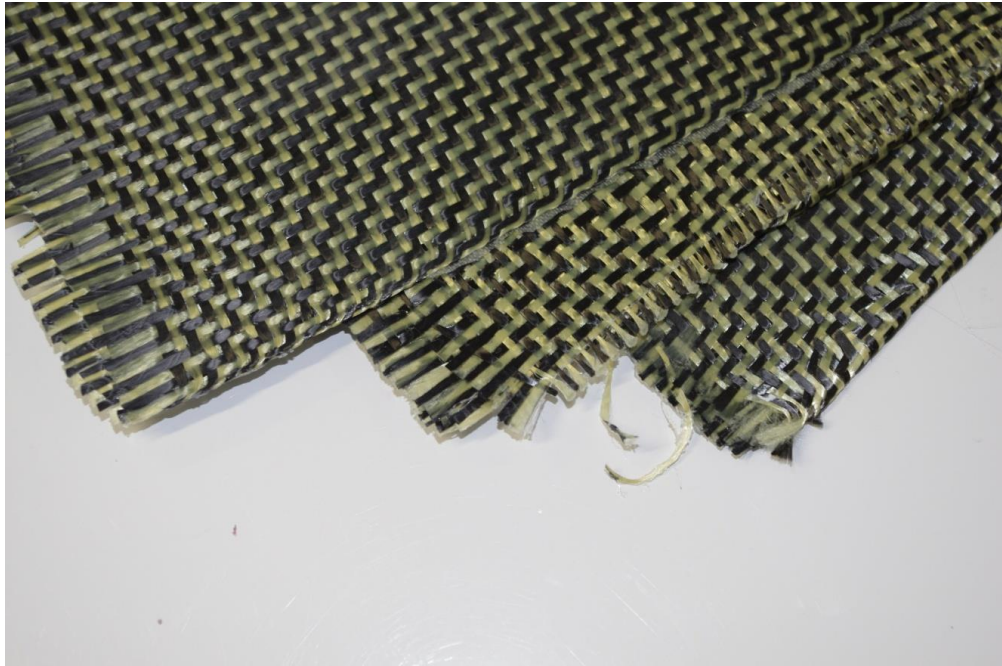
Doba prosycení tkaniny			
	Biresin L84	LG 700	L285
s	197	62	287

Z výše naměřených hodnot vyplývá, co se týče rychlosti infuze by byl experimentální díl vyroben až 3x rychleji při použití pryskyřice typu LG 700.

### 6.4 Hodnocení povrchu

Jelikož byly podmínky při výrobě zkušebních desek stejné pro všechny druhy infuzí je tak možno hodnotit objektivně vliv rychlosti na kvalitu povrchu výsledného dílu. Tento výsledek je přímo úměrný rychlosti průběhu infuze. Pryskyřice s nejnižší viskozitou zanechala nejhorší povrch a naopak pryskyřice s nejvyšší viskozitou zanechala nejjednotnější povrch s občasnými drobnými vadami v překrytí osnovy a útku.





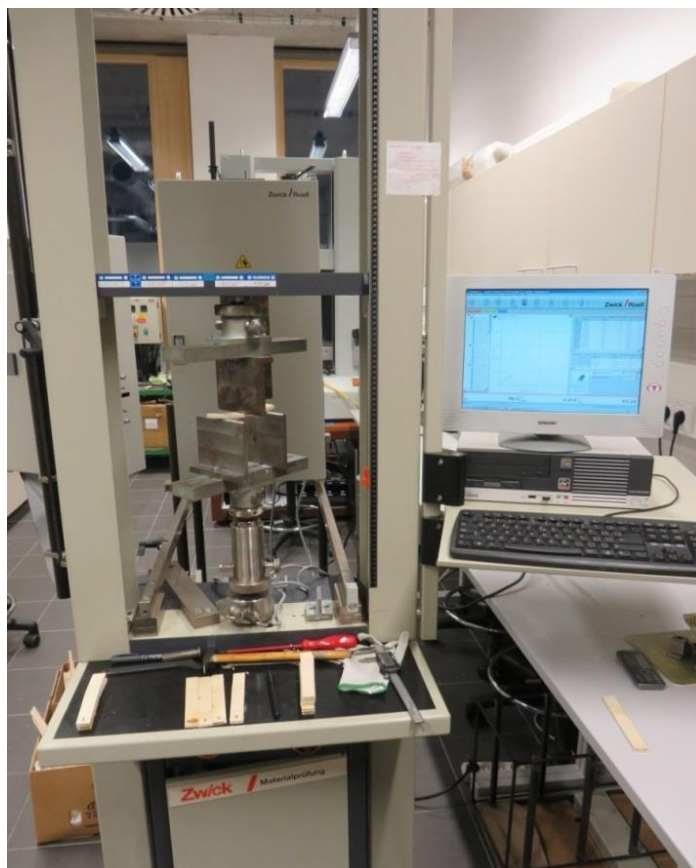
Obr. 39. Vyrobené desky

## 6.5 Experimentální zkouška tahem

Dalším porovnávaným kritériem je zkouška tahem. Měření probíhalo ve školních laboratořích FT na zkušebním stroji Zwick 1456. Součástí tohoto stroje je taktéž software Zwick II v.3.3.1, ve kterém je možno měnit parametry a nastavení zkoušky. Odtud také získáváme naměřené výsledky.

Tab. 2. Specifikace univerzálního stroje Zwick 1456

Specifikace stroje Zwick 1456	
Maximální zkušební síla	20kN
Strojová výška	1284 mm
Celková výška	2012 mm
Celková šířka	630 mm
Šířka pracovního prostoru	420 mm
Hmotnost	150 kg



Obr. 40. Univerzální zkušební stroj

### 6.5.1 Příprava vzorků na experimentální zkoušku tahem

Na tuto zkoušku bylo nejdříve nutno nařezat připravené desky na zkušební o rozměrech 100x20 mm na formátové pile. Řezání bylo provedeno za dodržování všech bezpečnostních podmínek v laboratořích v budově U5. Nastavení vzdálenosti extenzometru bylo 20 mm, nastavení vzdálenosti čelistí bylo 40 mm.

### 6.5.2 Průběh experimentální zkoušky tahem

Zkouška tahem probíhala dle tahové normy ČSN EN ISO 527 (ČSN 640604), která je určena pro zkoušení plastů, kompozitů a určuje podmínky pro izotropní a orthotropní plastové kompozity vyztužené vlákny. Podmínky zkoušky byly provedeny za konstantních podmínek.

**Postup při měření:**

- Uchycení vzorku do čelistí
- Spuštění zkoušky
- Vyjmutí roztrženého vzorku
- Nastavení základní polohy čelistí
- Vynulování počáteční síly

**6.5.3 Vyhodnocení experimentální zkoušky tahem**

Bylo provedeno deset měření pro každý druh pryskyřice. V níže uvedených tabulkách jsou uvedeny naměřené hodnoty modulu pružnosti  $E$ , meze pevnosti  $F$  a poměrného prodloužení  $\varepsilon$ . Z takto naměřených výsledků je patrné, že nejvyšší mez pevnosti při daných podmínkách dosáhla pryskyřice LG 700.

Tab. 3. Výsledky tahové zkoušky pro L84

<b>L84</b>			
	$E\{lomod\}$	$F\{lomax\}$	$dLat\ F\{lomax\}$
$n = 10$	MPa	MPa	%
$\{ol\ x\}$	39800	379	0,7
$s$	16200	162	0,2
$\{ny\}$	40,63	42,67	36,34

Tab. 4. Výsledky tahové zkoušky pro L 285

<b>L285</b>			
	$E\{lomod\}$	$F\{lomax\}$	$dLat\ F\{lomax\}$
$n = 10$	MPa	MPa	%
$\{ol\ x\}$	64000	455	0,7
$s$	25600	51,2	0,2
$\{ny\}$	40,05	11,25	25,75

Tab. 5. Výsledky tahové zkoušky pro LG 700

<b>LG 700</b>			
	$E$	$F\{lomax\}$	$dLat\ F\{lomax\}$
$n = 10$	MPa	MPa	%
$\{ol\ x\}$	49100	459	0,8
$s$	34800	31,5	0,2
$\{ny\}$	70,96	6,87	29,64

## ZÁVĚR

V první části praktické části této bakalářské práce byl popsán postup výroby formy pro díl krytu pod čelní sklo automobilu Škoda Fabia S 2000. Forma byla vyrobena z originálního dílu a cílem bylo vyrobit formu bez zničení originálního dílu a zároveň, aby forma dosahovala co nejvyšších kvalit. Vzhledem k použitým materiálům a použitým technologickým postupům byl výsledek uspokojivý, avšak bylo potřeba formu dále dodatečně upravit, dotmelit a doleštit. Tato část praktické části byla náročná na čas a při použití modifikací jako je plnič pórů a PVA by bylo možno tyto dodatečné práce eliminovat a dosáhnout lepších výsledků v rychlejším čase.

Ve druhé části byla provedena vakuová infuze a samotná výroba dílu. Při tomto procesu nebyl použit povrchový gelcoat, aby mohlo být provedeno objektivní zhodnocení prosycení dílu ve všech částech. Tato část bakalářské práce se obešla bez komplikací a podařilo se zvolit i vhodný rozvodný systém díky kterému byla prosycena veškerá tkanina ve všech částech a záhybech. Drobné nedostatky byly následně odstraněny dodatečnými úpravami a díl byl ořezán. Po ořezání byl tento díl podlepen termoizolační páskou, aby bylo co nejvíce eliminováno teplotní záření od motoru a turbodmychadla.

Díl byl již otestován v praxi na závodech Mezinárodního mistrovství České Republiky, kde splnil očekávání, obstál pevnostně a nebyl zdeformován teplem, tak jako sériové díly, které musely být každý závod měněny vlivem tepelné degradace.

Pokud by však byl díl teplem postupně degradován, je možno využít výše popsaných poznatků a formy na výrobu nového dílu.

Ve třetí části byla popsána výroba desek, pomocí vakuové infuze, u kterých bylo následně hodnoceno několik kritérií a to rychlost průběhu infuze, prosycení tkaniny a po následném rozřezání byla provedena tahová zkouška.

Pokud by se díl měl v případě menší sériové výroby i dále vyrábět stejnou technologií tak vzhledem k dosaženým výsledkům by bylo vhodnější použít místo užitého Biresinu L84 pryskyřici typu LG 700. Průběh infuze by byl až 3x rychlejší avšak by bylo nutno použít povrchový gelcoat k lepšímu vizuálnímu výsledku.

Pokud by však nemusel být díl vyroben technologií vakuové infuze, bylo by nejlepší zvolit modifikovanou formu technologie ručního laminování v kombinaci s lisováním pomocí vakua.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

[1] EHRENSTEIN, Gottfried W. Polymerní kompozitní materiály. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009, 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.

[2] D. AGARWAL, Bhagwan, Lawrence J. BROUTMAN, Lubomír SODOMKA, Richard BAREŠ, Jan JAVORNICKÝ a Jaroslava ZEMÁNKOVÁ. Vláknové kompozity. 1. vydání. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1987.

[3] RUSNÁKOVÁ, Soňa. Kompozity\_FORM - technology. Zlín, 2011.

[4] KOŘÍNEK, Zdeněk. Kompozity [online]. [cit. 2014-12-20]. Dostupné z: <http://www.volny.cz/zkorinek>

[5] SUCHÁČEK, Petr. Vývoj technologie výroby kapoty lokomotivy technologií vakuové infuze. Zlín, 2013. Diplomová práce. Universita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.

[6] ZAVADIL, Radek. Využití kompozitních materiálů pro sportovní aplikace. Zlín, 2014. Bakalářské práce. Universita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.

[7] ZATLOUKAL, Roman. Technologie výroby řadicí páky pro sportovní automobily. Zlín, 2010. Diplomová práce. Universita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.

[8] MAŇAS, Lukáš. Prototyp kompozitního podmotorového klínu pro motocykl. Zlín, 2015. Diplomová práce. Universita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.

- [9] MOTÁŇ, Filip. Lisování uhlíkových kompozitů. Zlín, 2014. Bakalářská práce. Universita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.
- [10] JANUŠ, Radek. Experimentální studium vakuové infuze. Zlín, 2013. Bakalářská práce. Universita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.
- [11] Kompozity. FSI VUT v Brně. [online]. [cit. 2012-11-18]. Dostupné z:  
<http://delta.fme.vutbr.cz/mikromechanika/kompozityA4.pdf>
- [12] Technologie jejich popis a schémata. Havel-composites.com [online]. 2005 [cit. 2012-11-18]. Dostupné z: <http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/76-Technologie-jejich-popis-a-schemata.html>
- [13] What is resin infusion (or vacuum infusion)?. VACMOBILES.COM. [online]. [cit. 2013-02-17]. Dostupné z: [http://www.vacmobiles.com/resin\\_infusion.html](http://www.vacmobiles.com/resin_infusion.html)

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK**

HS	High-strength
HM	High-modulus
RTM	Resin Transfer Moulding
n	počet měření
s	Směrodatná odchylka
F	Síla [N]
$\varepsilon$	Poměrné prodloužení
E	Modul pružnosti [MPa]
PTFE	Polytetrafluorethylen
PVC	Polyvinylchlorid
PVA	Polyvinylalkohol
PE	Polyethylen
mm	milimetr
$\mu\text{m}$	mikrometr
Tg	teplota skelného přechodu

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Schéma ruční laminace .....	13
Obr. 2. Schéma tváření v autoklávu.....	14
Obr. 3. Schéma tváření v autoklávu.....	14
Obr. 4. Schéma RTM.....	15
Obr. 5. Schéma stříkání.....	16
Obr. 6. Schéma pultruze .....	17
Obr. 7. Schéma vakuové infuze .....	20
Obr. 8. Odtrhová tkanina .....	21
Obr. 9. Rozvodná síť.....	22
Obr. 10. Rozváděcí kanál.....	22
Obr. 11 Těsnící páska .....	23
Obr. 12. Rozvodná hadice.....	23
Obr. 13. Rozvodný konektor.....	24
Obr. 14. Vakuová vývěva .....	24
Obr. 15. Rezervoár.....	25
Obr. 16. Ochranná polomaska .....	26
Obr. 17. Skelná tkanina.....	29
Obr. 18. Aramidová tkanina .....	30
Obr. 19. Uhlíková tkanina.....	31
Obr. 20. Originální díl.....	35
Obr. 21. Podlepení dílu PVC folií.....	36
Obr. 22. Zalepení spojů PET páskou .....	37
Obr. 23 Předchystaný díl pro výrobu formy .....	38
Obr. 24. Separáční vosk Blue Wax.....	39
Obr. 25. D�l po nanesen� gelcoatu.....	40
Obr. 26. Laminace formy.....	40
Obr. 27. Forma po odformování .....	41
Obr. 28. Vytmelen� povrchových vad formy .....	42
Obr. 29. Odtrhová tkanina .....	43
Obr. 30. Rozvodn� systém.....	43
Obr. 32. D�l před infuzí.....	44
Obr. 31. Vys�t� pracovní prostor.....	45

---

Obr. 33. Průběh vakuové infuze .....	46
Obr. 34. Díl před ořezáním .....	47
Obr. 35. Ořezaný díl umístěný na automobil.....	47
Obr. 36. Pohled na automobil s umístěným dílem.....	48
Obr. 37. Příprava pracovního prostou před výrobou vzorků .....	50
Obr. 38. Příprava na vakuovou infuzi.....	50
Obr. 39. Vyrobené desky .....	52
Obr. 40. Univerzální zkušební stroj .....	53

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. Doba prosycení tkaniny .....	51
Tab. 2. Specifikace univerzálního stroje Zwick 1456 .....	52
Tab. 3. Výsledky tahové zkoušky pro L84 .....	54
Tab. 4. Výsledky tahové zkoušky pro L285 .....	54
Tab. 5. Výsledky tahové zkoušky pro LG 700.....	54

## SEZNAM PŘÍLOH

Tato bakalářská práce obsahuje několik technických listů jako přílohy. Jedná se o technické listy pryskyřic, které byly použity při výrobě formy a dílu v praktické části bakalářské práce a které byly následně testovány.

PŘÍLOHA PI Materiálový list Biresin L84

PŘÍLOHA PII Materiálový list laminační pryskyřice L285 Tužidla 285,286,287

PŘÍLOHA PIII Materiálový list Laminační pryskyřice LG 700

## PŘÍLOHA PI Materiálový list Biresin L84

Vydáno 4/2008, tento TL nahrazuje všechny předchozí

# Biresin<sup>®</sup> L84

Laminační a víceúčelová pryskyřice

### Použití

- Výroba laminačních forem
- Tepelně odolné výplně forem, modelů a negativů
- Výroba forem na vakuové formování
- Sklolamináty nebo lamináty s uhlíkovým vláknem
- Výroba vysoce plněného polymerního betonu

### Vlastnosti

- Víceúčelové použití s různými tvrdidly
- Dobré prosvěcování a smáčivost
- Je možné přidání velkého množství sekaného skleněného vlákna
- Dobrá tepelná odolnost a mechanická pevnost, zejména po dodatečném tepelném zpracování
- S tvrdidlem **Biresin S12** se dosáhne rychlejšího vytvrzování a časnějšího vyformování
- S tvrdidlem **Biresin L84T** se dosáhne delší doba zpracování a vyšší tepelná odolnost (po dodatečném tepelném zpracování)

### Popis

Produkt Dvou-komponentní epoxidový systém  
Pryskyřice **Biresin L84**, epoxidová pryskyřice, nažloutlá, nízko viskozni  
Tvrdidlo **Biresin L84**, standardní tvrdidlo, amin, bezbarvé transparentní, neplněné, nízko viskozni  
**Biresin S12**, amin, nažloutlý, neplněný, nízko viskozni  
**Biresin L84T**, amin, bezbarvý transparentní, neplněný, nízko viskozni

### Údaje ke zpracování

Směšovací poměr <b>Biresin L84</b> pryskyřice : tvrdidlo hmotn. podíl	<b>Biresin L84</b>	<b>Biresin S12</b>	<b>Biresin L84T</b>	
	100 : 25	100 : 20	100 : 24	
Viskozita směsi, 25 °C	mPas	390	1090	590
Doba zpracování, 200 g, PT <sup>*)</sup>	min	40	20	60
Doba vyformování, PT	hod	24	24	24 + dod. tep.zpr.

<sup>\*)</sup> PT - pokojová teplota

### Fyzikální vlastnosti (přibl. hodnoty)

<b>Biresin L84</b> pryskyřice	s tvrdidlem	<b>Biresin L84</b>	<b>Biresin S12</b>	<b>Biresin L84T</b>
Hustota	ISO 1183 g/cm <sup>3</sup>		1,1	
Tvrdost Shore	ISO 868 -	D 82	D 84	D 86
E-modul	ISO 178 MPa	3 600	3 400	3 000
Pevnost v ohybu	ISO 178 MPa	76	130	131 <sup>**)</sup>
Pevnost v tlaku	ISO 604 MPa	118	120	127
Pevnost v tahu	ISO 527 MPa	87/74 <sup>**)</sup>	77	73 <sup>**)</sup>
Rázová houževnatost	ISO 179 kJ/m <sup>2</sup>	18/21 <sup>**)</sup>		
Tepelná odolnost	ISO 75B °C	100 <sup>**)</sup>	91 <sup>**)</sup>	110 <sup>***)</sup>

<sup>\*\*)</sup> hodnoty po dodatečném tepelném zpracování 2 hod/ 80 °C

<sup>\*\*\*)</sup> hodnoty po dodatečném tepelném zpracování 15 hod/ 80 °C



## Balení

Jednotlivě

<b>Biresin L84</b> pryskyřice	220 kg, 50 kg, 10 kg netto
<b>Biresin L84</b> tvrdidlo	50 kg, 12,5 kg, 2,5 kg netto
<b>Biresin S12</b> tvrdidlo	50 kg, 15 kg, 2,5 kg, 0,4 kg netto
<b>Biresin L84T</b> tvrdidlo	53 kg, 15 kg, 2,5 kg netto

## Zpracování

- Teplota materiálu musí být 18 – 25°C.
- Před použitím musí být pryskyřičná složka pečlivě promíchána.
- Po smíchání pryskyřice a tvrdidla lze do směsi – je-li to nutné, přimíchat velké množství aditiv.
- Biresin L84 se nanáší rychle a snadno díky své nízké viskozitě. Dobře smáčí vlákna a snese vysoké plnění vláknou a prachem s velmi dobrou pojivostí. Při tvorbě laminátů s tloušťkou více jak 2 – 3 mm je nutná pracovní přestávka 2 hod, aby se snížil teplotní pik reakce. S tvrdidly Biresin L84 a L84T lze pracovat dále, bez pracovní přestávky.
- S tvrdidlem Biresin L84T lze vyformovat po 24 hod vytvrzování za pokojové teploty a dodatečným vytvrzením po asi 4 – 5 hod na 40 – 50 °C. Kompletního vytvrzování se dosáhne dodatečným vytvrzováním asi 15 hod na 80 °C.
- Poměr pryskyřice a plniv musí být přesně stanoven a kontrolován.
- Spojovací vlastnosti mezi laminátem a tkaninou jsou lepší u vazby kepr než u spojovací tkaniny, z důvodů jeho lepší poddajnosti.
- Doporučuje se vyrovnat laminát, aby nedošlo k distorzi při vyformování.
- Zhutnění sklolaminátu a laminátů s uhlíkovou tkaninou je možné aplikováním vakua pomocí vakuového vaku, čímž dojde k odstranění vneseného vzduchu a přebytečné pryskyřice.
- K očištění štětců a nástrojů doporučujeme použít Sika Reinigungsmittel 5.

## Skladování

- Minimální doba životnosti je 12 měsíců při skladování za pokojové teploty (18 – 25°C), v původních neotevřených obalech.
- Při skladování delší dobu za nízkých teplot může dojít ke krystalizaci. Toto lze snadno odstranit postupným ohřevem na max. 80 °C a pomalým zchladnutím na pokojovou teplotu.
- Obaly musí být po otevření okamžitě pečlivě uzavřeny, aby se předešlo vniknutí vlhkosti. Zbylý materiál spotřebujte co nejdříve.

## Bezpečnostní pokyny

Informace a rady, jak bezpečně zacházet a skladovat produkty uživatel nalezne v platném bezpečnostním listě, a to včetně fyzikálních, ekologických toxikologických a dalších potřebných sdělení.

## Nakládání s odpadem

Produkt:

Doporučení: Musí být s ním zacházeno jako se speciálním odpadem dle platných předpisů.

Obaly:

Doporučení: Zcela vyprázdněné obaly mohou být dány k recyklaci. Se znečištěnými obaly zacházejte jako s produktem.

Tyto informace a zejména doporučení použití konečnému uživateli Sika produktů jsou vedeny v dobré víře a na úrovni současného stavu našich poznatků o produktu za předpokladu jeho správného skladování, manipulace a použití dle normálních podmínek a Sika doporučení. Tato skutečnost však uživatele produktu nezavazuje nutností vlastního ověření pro zamýšlený postup a účel použití. Samotné použití a zpracování produktu u uživatele prováděné mimo možnost naší kontroly je pak ve výhradní zodpovědnosti uživatele. Sika si vyhrazuje právo na změnu vlastností svého produktu. Vlastnická práva třetí strany musí být zohledněna. Koncový uživatel se musí vždy řídit posledním místním vydáním technického listu, jehož kopii obdrží na vyžádání.

Sika Deutschland GmbH, [www.sika.de](http://www.sika.de) nebo [www.sika-tooling.com](http://www.sika-tooling.com)

PŘÍLOHA PII Materiálový list laminační pryskyřice L285 Tužidla 285,286,287

1

# LAMINAČNÍ PRYSKYŘICE L 285 TUŽIDLA 285, 286, 287

## Návod k použití, technické listy

### Charakteristika

Schválení:	Německý federální úřad pro letectví
Použití:	výroba kluzáků, motorových kluzáků a motorových letadel, lodě a stavba lodí, sportovní nářadí, letecké modely, formy a nástroje
Teplotní odolnost výrobků bez výrazných změn jejich parametrů:	- 60 °C - □ + 50-60 °C za temperování - 60 °C - □ + 80-+ 100 °C po temperování
Zpracování:	Při teplotách mezi 10 °C a 50 °C Všechny běžné metody zpracování
Zvláštní vlastnosti:	Extrémně dobrá fyziologická kompatibilita Dobré mechanické a tepelné vlastnosti Doba zpracovatelnosti (tzv. pot life) od přibližně 45 minut do asi 5 hodin (závisí na použitém tužidle)
Zvláštní úpravy:	L 285 T: tixotropní L 285 K2: tixotropní tepelná úprava L 285 W: bílá

### Použití

Systém laminační pryskyřice, schválený německým federálním úřadem pro letectví, má rozdílné doby zpracovatelnosti (v závislosti na použitém tužidle) pro výrobu s použitím skelných, uhlíkových a kevlarových vláken a vyznačuje se vysokými statickými a dynamickými vlastnostmi.

Po tepelném vytvrzení při 50 - 55 °C systém splňuje standard pro větroně a motorové větroně (pracovní teplota - 60 °C až + 54 °C. Pro splnění požadavků motorových letadel (pracovní teploty - 60 °C až + 72 °C) je nezbytné tepelné vytvrzení při 80 °C.

Rozmezí doby zpracovatelnosti (tzv. pot life) je mezi přibližně 45 min. a 5 h v závislosti na druhu tužidla. Tužidla mají stejný poměr míchání a mohou být míchány mezi sebou v jakémkoli poměru. Toto dovoluje výběr optimálního systému pro všechny metody zpracování. Po počátečním vytvrzení při pokojové teplotě jsou vyrobené komponenty opracovatelné a lze je vytáhnout z formy. Získáte vysoce se lesknoucí a nelepivé povrchy, a to dokonce i při nepříznivých podmínkách při vytvrzování, tj. nižší teploty nebo vysoká vlhkost.

Viskozita směsi zaručuje rychlé a dokonalé prosycení vláken, nicméně, pryskyřice se nerozlije na tkanině na vertikálním povrchu. Za účelem získání zvláštních vlastností je rovněž možné přidat ke směsi pryskyřice/tužidlo nejrůznější plniva, např. aerosil, mikrobalyony, bavlněné vločky, kovový prášek apod.

Pokud se nevyžaduje vysoká tepelná odolnost či letecké schválení, dá se tužidlo 285 použít bez následného temperování. Nicméně, uvedené vlastnosti získá pouze po tepelném vytvrzení při teplotách nad 50 °C.

### Použití

Laminační systém má hydrofilní charakter (vyšší absorpce vlhkosti, nižší odpor rozptylu páry). Proto neočekáváme žádné problémy kompatibility při jeho kombinaci s polyesterovými gelcoaty, rozmanitými barvami (např. na bázi PUR) atd. Bohužel však nemáme k dispozici testy těchto kombinací.

Od svého schválení v roce 1985 byl laminační systém L 285 používán téměř všemi výrobci letadel a kluzáků a - zvláště kvůli své extrémně dobré fyziologické kompatibilitě - je nejvíce užívaným systémem dnešního leteckého průmyslu. Často se stává, že pracovníci, kteří zaznamenali problémy s některými epoxidy (alergie či podráždění pokožky), jsou schopni zpracovávat laminační pryskyřici L 285.

Je nutno dodržovat příslušná bezpečnostní pokyny pro manipulaci s epoxidovými pryskyřicemi a tužidlo a naše instrukce pro bezpečné zpracování.

### Specifikace

		Laminační pryskyřice L 285
Hustota °C	g/cm <sup>3</sup> / 25	1,18 - 1,23
Viskozita °C	mPas / 25	600 - 900
Ekvivalent epoxidu	-	165 - 170
Hodnota epoxidu	-	0,59 - 0,65
Barva Gardner		max 3

		Tužidlo 285	Tužidlo 286	Tužidlo 287
Hustota °C	g/cm <sup>3</sup> / 25	0,94 - 0,97	0,94 - 0,97	0,93 - 0,96
Viskozita °C	mPas / 25	50 - 100	60 - 100	80 - 100
Aminové číslo G	mg KOH /	480 - 550	450 - 500	450 - 500
Barva Gardner		max 3 (*)	max 3 (*)	max 3 (*)

(\*) Vztahuje se pouze k průsvitnému tužidlu - tužidla mají průsvitně modrou barvu

Laminační pryskyřice (Laminační systém)

**LG 700**

pro RTM

**Tužidla HG 700 F, HG 700 M, HG 700, HG 737**

## 1. Popis

**Laminační systém LG 700** je epoxidový systém nové generace, na bázi silně modifikované epoxidové pryskyřice a několika tvrdidel, kterými lze nastavit rozdílnou zpracovatelnost a podmínky vytvrzení.

Laminační pryskyřice LG 700 je velmi tekutá pryskyřice se zvýšenou vazností a reaktivitou, vyznačující se mimořádnou flexibilitou při zachování velmi vysoké teplotní odolnosti. Pryskyřice obsahuje modifikační činidla, maximálně zlepšující průnik laminační směsi do tkaniny.

**Tužidlo HG 700 F** je velmi rychlé tužidlo s několika akcelerátory, umožňující velmi krátký temperační cyklus. Je určeno zejména pro sériovou výrobu menších dílů. Gel-time (100g) při 23°C je 20 minut.

**Tužidlo HG 700 M** je rychlé tužidlo s akcelerátorem, umožňující krátký temperační cyklus. Je vhodné pro výrobu menších a středně velkých dílů. Gel-time (100g) při 23°C je 50 minut.

**Tužidlo HG 700** je základní varianta tužidla pro epoxid LG 700. Je velmi tekuté a proto vhodné pro infuzi i těch nejtěsnějších materiálových skladeb. Gel-time (100g) při 23°C je 90 minut.

**Tužidlo HG 737** je velmi pomalé tužidlo pro injektáž velkých dílů nebo velmi silných materiálových skladeb. Ani při síle laminátu nad 1 cm nedochází k zahoření směsi. Gel-time (100g) při 23°C je cca 3 hodiny.

## 2. Použití

Laminační systém 700 se používá zejména pro RTM, ale je možné ho použít i pro ruční laminaci za pokojové i zvýšené teploty. Je vhodný k přípravě komposit s vyšší tepelnou odolností a výbornými mechanickými vlastnostmi. Je předurčen k výrobě i náročných kompozitních dílců. Směsná viskozita systému je 300 – 350 mPa/s dle teploty a použitého tvrdidla.

Systém je použitelný pro všechny běžně používané výtuže, jako jsou například skleněná, uhlíková nebo aramidová vlákna, sendvičové materiály atd.

Systém je kompatibilní s většinou běžných i polyesterových gelcoatů. Přesto doporučujeme jednotlivé kombinace nejprve předem vyzkoušet.

### 2.1 Pracovní postup

Se systémem doporučujeme pracovat v rozmezí teplot 18 až 30°C běžnými zpracovatelskými postupy pro výrobu kompozitů.

Tento systém byl navržen tak, aby dostatečně vytvrzoval i při pokojové teplotě od 18 - 30°C, proto může být zpracováván i při pokojové teplotě a používán bez následného tepelného vytvrzení. Doba zpracovatelnosti je 20 – 180 minut při pokojové teplotě (podle typu tužidla).

Při vytvrzení za tepla lze dosáhnout teplotní odolnosti až 120°C, viz. tabulka teplotních odolností (str.2).



## Laminační pryskyřice LG 700 pro RTM + Tužidla HG 700 F, HG 700 M, HG 700, HG 737

**Gel time:** (nános do vrstvy 1 mm při různých teplotách)

LG 700	HG 700 F	HG 700 M	HG 700	HG 737
při 25°C	1 – 2 hodin	2 – 3 hodin	3 – 5 hodin	8 – 12 hodin
při 50°C	25 min.	50 min.	1,5 hodiny	2 – 3 hodin

**Teplotní odolnost (Tg):**

LG 700	HG 700 F	HG 700 M	HG 700	HG 737
při 23°C (2-7 dní)	55°C	60°C	60°C	55°C
při 50°C (3 hodiny)	65°C	70°C	70°C	65°C
při 60°C (> 3 hodiny)	75°C	80°C	80°C	75°C
při 90°C (> 2 hodiny)	95°C	100°C	100°C	95°C
při 120°C (2 hodiny)	105°C	110°C	110°C	105°C

**Poměr míchání pryskyřice + tužidlo:**

Složky váhové	<b>100 : 30</b>
Složky objemové	<b>100 : 38</b>

## 2.2 Technické parametry

**Vlastnosti:**

		LG 700
Hustota	g/cm <sup>3</sup> (25°C)	1,18 - 1,23
Viskozita	mPa/s (25°C)	600 – 900
Ekvivalent epoxidu	mol/kg	156 – 165
Index epoxidu	-	0,60 - 0,64
Barva	Gardner	max 3

		HG 700 F	HG 700 M	HG 700	HG 737
Hustota	g/cm <sup>3</sup> (25°C)	0,98	0,96	0,94	0,98
Viskozita	mPa/s (25°C)	30 - 40	35 - 50	15 - 20	10 - 15
Vodíkový ekvivalent	-	48	48	48	48
Barva	Gardner	max 3*	max 3*	max 3*	max 3*

\* Vztahuje se k nebarvenému tužidlu.

**Podrobnosti pro zpracování:**

	LG 700	HG 700 F	HG 700 M	HG 700	HG 737
Průměrná hodnota epoxidu	0,62	-	-	-	-
Průměrný ekvivalent aminu	-	48	48	48	48
Skladování	24 (epoxid), 12 měsíců (tužidla) v uzavřeném obalu				